Unità 1

Acqua

L'acqua è l'elemento nel quale si sono sviluppati i primari processi chimici organici e dove, oltre tre miliardi di anni fa, è nata la vita. Nonostante sia facile pensare che gli organismi terrestri ne siano ormai svincolati, la stragrande maggioranza di loro (o meglio, di noi) ne è tuttora legata a doppio filo. Un legame tra vita, processi biochimici e ambiente acquatico testimoniato dall'elevata (talvolta elevatissima) percentuale di acqua all'interno della maggior parte dei tessuti biologici.

La **struttura molecolare** dell'acqua, data da due atomi di idrogeno e da uno di ossigeno, è riassunta dalla nota formula $\mathbf{H_2O}$ (fig. 1.1). La struttura spaziale e le **proprietà polari** (dovute dalla differenza di carica tra gli atomi) della molecola sono alla base delle sue proprietà fisiche; sia il **congelamento** (passaggio allo stato **solido** che avviene a 0°C per l'elemento puro in condizioni di pressione di 1 atmosfera) che l'**ebollizione** (passaggio allo stato **gassoso**, a 100°C e 1 atmosfera), sono infatti dovuti alla maggiore o minore presenza dei cosiddetti **legami** (o **ponti**) **a idrogeno**, forze di attrazione basate su differenze di carica elettrostatica che nel caso dell'acqua possono formarsi tra gli atomi di idrogeno, carichi positivamente, e gli atomi di ossigeno, fortemente elettronegativi. In fase solida (ghiaccio), l'energia termica dalla quale dipende il moto delle particelle è scarsa, per cui le molecole d'acqua tendono ad avvicinarsi e a disporsi ordinatamente l'una a fianco all'altra; questo facilita la formazione di un gran numero di legami a idrogeno, che riducono ulteriormente il movimento delle molecole e immobilizzano la struttura. All'aumentare dell'energia termica, si intensifica anche il moto delle molecole e, superati gli 0°C, i legami a idrogeno iniziano a rompersi; si ha così il passaggio alla fase liquida, ovvero all'acqua. Innalzandosi ancora la temperatura, oltre i 100°C, il moto è talmente elevato che le molecole non riescono a interagire tra loro e iniziano a disperdersi, impedendo ai ponti a idrogeno di formarsi; il risultato è la fase gassosa, o vapore (fig. 1.2).

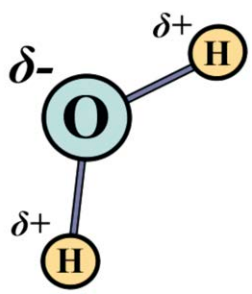

Figura 1.1 Struttura molecolare dell'acqua.

Per le sue proprietà chimiche, l'acqua è definita **solvente polare**, ovvero, per lo stesso motivo di differenza di carica elettrica tra gli atomi della molecola, riesce a sciogliere sostanze (dette **idrofile)**, anch'esse polari, o che presentino almeno un gruppo ossidrilico (OH) o un gruppo NH, come zuccheri, alcoli, aldeidi e chetoni. Le sostanze non solubili in acqua, perché sostanzialmente prive di gruppi polari come gran parte dei grassi, sono dette invece **idrofobe**. Tra le sostanze solubili vi sono molti **sali**, come ad esempio il comune sale da cucina (cloruro di sodio, NaCl). La loro solubilità è dovuta al fatto che sono formati da elementi, detti **ioni**, uniti tra loro tramite il cosiddetto **legame ionico**, un legame chimico completamente basato sulla differenza di carica

elettrica tra gli atomi e che non prevede la condivisione di elettroni, come invece avviene nel legame covalente. L'acqua, grazie all'azione attrattiva delle sue molecole polari, rompe il legame ionico e separa gli ioni, sciogliendo il sale.

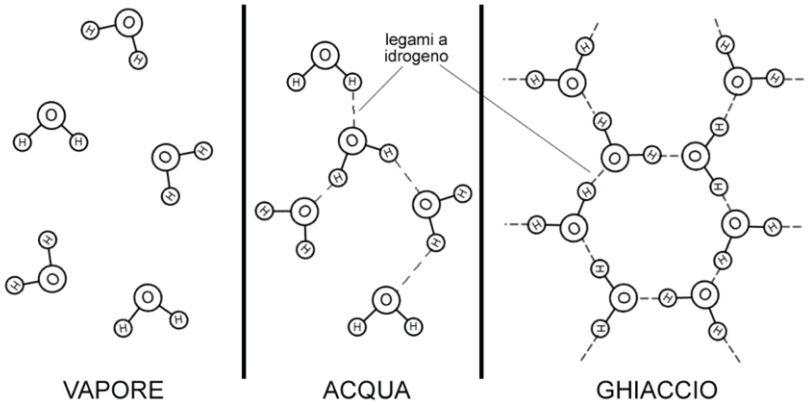

Figura 1.2 Disposizione schematica delle molecole di acqua nelle tre fasi.

La miscela ottenuta sciogliendo sali o altre sostanze solubili in acqua (o, generalizzando, in qualsiasi altro solvente) viene detta **soluzione** e assume una serie di proprietà chimico-fisiche dette **proprietà colligative**. Rientra in questa categoria l'**osmosi**, la proprietà per cui, se si hanno due soluzioni a differente concentrazione (diversa quantità di particelle di soluto disciolte) separate da una membrana **semipermeabile** (permeabile al solvente ma non al soluto), il solvente tende a diffondere dalla soluzione a più bassa concentrazione (**ipotonica**) verso la soluzione a più alta concentrazione (**ipertonica**), fino a raggiungere la stessa concentrazione in entrambe le soluzioni (soluzioni **isotoniche**, fig. 1.3). Questa proprietà di **trasporto passivo** è fondamentale e si riscontra in svariati processi biologici. Un esempio molto comune è rappresentato dal turgore delle foglie e dei fusti delle piante; una struttura presente nelle cellule vegetali (il vacuolo) si gonfia richiamando acqua al suo interno per osmosi, aiutando a mantenere tutte le parti della pianta erette e distese.

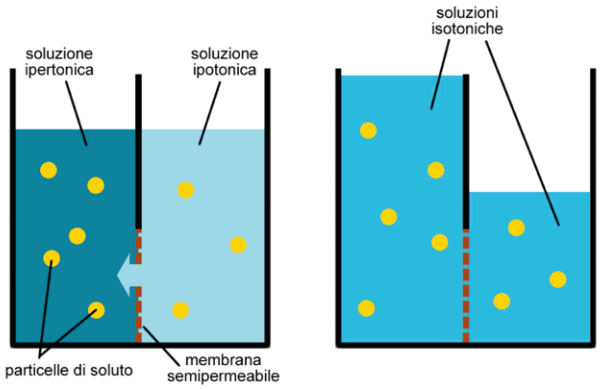

Figura 1.3 Schema del processo di osmosi.

L'acqua è di fatto il mezzo in cui tutte le reazioni biologiche avvengono, ed è uno degli elementi chiave per la presenza della vita sulla Terra.

Esercizi Unità 1

1. L'acqua è presente:

A. all'interno dei tessuti dei soli organismi acquatici.
B. all'interno di gran parte dei tessuti biologici.
C. solo in particolari organi dedicati alla respirazione.
D. solo nelle cellule degli anfibi.
E. solo nelle foglie delle piante.

2. L'acqua, a causa della sua particolare struttura molecolare, è un solvente di tipo:

A. polare.
B. apolare.
C. isoelettrico.
D. neutro.
E. completo.

3. La temperatura massima alla quale si ottiene acqua allo stato solido è:

A. 25°C
B. 100°C
C. -15°C
D. -273°C
E. 0°C

4. La temperatura minima alla quale si ottiene acqua allo stato gassoso è:

A. 25°C
B. 100°C
C. -15°C
D. -273°C
E. 0°C

5. Durante la fase solida dell'acqua (ghiaccio), le molecole risultano:

A. affiancate e ordinate.
B. non a contatto e disordinate.
C. opposte dal punto di vista stechiometrico.
D. sovrapposte.
E. ridotte in atomi singoli.

6. Una sostanza che si scioglie in acqua viene detta:

A. idrofoba.
B. idrolisante.
C. idrofila.
D. idroponica.
E. idrocaulica.

7. Una sostanza che non si scioglie in acqua viene detta:

A. idrofoba.
B. idrolisante.
C. idrofila.
D. idroponica.
E. idrocaulica.

8. Durante lo scioglimento di un sale solubile in acqua:

A. gli atomi del sale si legano in maniera covalente l'uno all'altro.
B. gli ioni del sale si separano ed entrano in soluzione.
C. il sale precipita.
D. gli ioni del sale formano un polimero con le molecole dell'acqua.
E. il sale sublima.

9. L'osmosi è:

A. una proprietà sterica di una soluzione.
B. una proprietà ionica di una soluzione.
C. una proprietà stechiometrica di una soluzione.
D. una proprietà colligativa di una soluzione.
E. una proprietà organolettica di una soluzione.

10. Durante un processo osmotico, attraverso una membrana semipermeabile il solvente diffonde:

A. dalla soluzione più basica a quella più acida.
B. dalla soluzione a maggior concentrazione di molecole complesse a quella a maggior concentrazione di molecole semplici.
C. dalla soluzione più scura a quella più chiara.
D. dalla soluzione a minor concentrazione a quella a maggior concentrazione di soluto.
E. dalla soluzione più viscosa a quella meno viscosa.

Unità 2

Peptidi e proteine

Le proteine sono le molecole più abbondanti all'interno della cellula e le loro dimensioni e funzionalità sono talmente diverse e vaste da essere difficilmente riassumibili. Di natura proteica sono moltissimi prodotti biologici come gli enzimi, gli ormoni, i muscoli, i peli fino ai veleni naturali e gli antibiotici. Proteine sono anche i prodotti attraverso cui si esprimono le informazioni genetiche, tramite il cosiddetto processo di **sintesi proteica**.

Le proteine sono dei **polimeri**, ovvero macromolecole formate da gruppi elementari (detti **monomeri**) concatenati tra loro e uniti da particolari legami covalenti. I monomeri delle proteine sono gli **amminoacidi** (o **aminoacidi**), molecole formate da un atomo di carbonio centrale legato a quattro diversi gruppi, detti **gruppi funzionali**: un gruppo **amminico** ($-NH_2$), un gruppo **carbossile** (–COOH), un **idrogeno** e un gruppo variabile detto **gruppo 'R'** (fig. 2.1). Tutte le proteine presenti in natura sono formate dalla combinazione di soltanto **20 amminoacidi diversi** (tutti del tipo α-amminoacidi, cioè con il gruppo carbossile e il gruppo R legati come detto al carbonio centrale, chiamato appunto carbonio α), che si differenziano grazie alla variazione del gruppo R (tab. 2.1). La grande variabilità strutturale della chimica di questo gruppo conferisce ai vari amminoacidi proprietà diverse, come la possibilità di essere molecole sia **polari** (con gruppi R detti '**aromatici**' come la Fenilalanina o il Triptofano) che **apolari** (con gruppi R detti '**alifatici**' come l'Alanina o la Glicina) in base alla polarizzazione elettrica della molecola (stesso concetto espresso per l'acqua, che è una molecola polare).

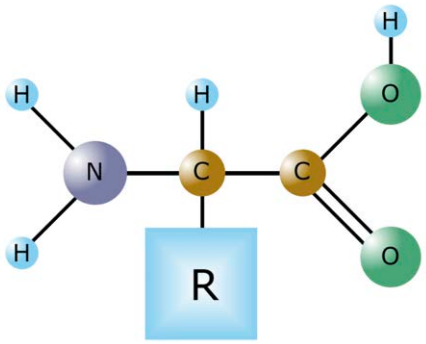

Figura 2.1 Schema generico di una molecola di aminoacido.

Il termine 'proteine' è soltanto il nome più conosciuto delle catene polimeriche di amminoacidi, ma in realtà ne identifica (formalmente) solo una parte. Infatti, in linea generale le catene di amminoacidi variano il loro nome in base alla loro lunghezza (o massa molecolare). Il termine

principale col quale si identifica una generica catena di amminoacidi è **peptide**, se i monomeri (amminoacidi) sono soltanto due si parla di **dipeptide**, se sono tre **tripeptide** e così via. Più in generale, se gli amminoacidi (quando inseriti nella catena vengono chiamati anche **residui amminoacidici**) sono 'pochi', si parla di **oligopeptidi**, se sono 'molti' si parla di **polipeptidi**, se invece i residui sono 'moltissimi' (in genere a formare una catena dalla massa molecolare superiore a 10.000) si parla finalmente di **proteine**. Anche il legame ammidico di tipo covalente che lega gli amminoacidi tra loro in una catena polipeptidica, per alcune sue caratteristiche, varia il proprio nome e acquisisce quello di **legame peptidico**.

Gli amminoacidi costituenti una catena polipeptidica, dal punto di vista sterico potrebbero ruotare l'uno nei confronti dell'altro in maniera del tutto libera, data la natura covalente singola del legame peptidico. Questo, di fatto, comporterebbe un'infinita varietà strutturale delle catene. Ogni proteina, però, per svolgere efficacemente il proprio compito deve avere una precisa struttura, anche dal punto di vista del suo 'ingombro' spaziale. Perché sia attiva e funzionale è quindi necessario che la proteina sia in qualche modo stabilizzata in una determinata forma. La struttura tridimensionale di una proteina viene detta **conformazione** e le principali forze che la rendono stabile sono prevalentemente due, la stessa natura del legame peptico e le cosiddette **interazioni deboli**, una su tutte il già citato legame a idrogeno.

La struttura delle proteine ha un ordine gerarchico standard per definizione: si parla di strutture **primaria**, **secondaria**, **terziaria** e **quaternaria** (fig. 2.2). La struttura primaria si riferisce soltanto alla sequenza ordinata di amminoacidi nella catena, mentre le altre presuppongono una strutturazione più complessa della molecola. La struttura secondaria, per la descrizione della quale sono stati determi-

Tabella 2.1 I 20 amminoacidi naturali con la loro sigla e formula bruta.

Amminoacido	Sigla	Formula bruta
Acido aspartico	Asp	$C_4H_7NO_4$
Acido glutammico	Glu	$C_5H_9NO_4$
Alanina	Ala	$C_3H_7NO_2$
Arginina	Arg	$C_6H_{14}N_4O_2$
Asparagina	Asn	$C_4H_8N_2O_3$
Cisteina	Cys	$C_3H_7NO_2S$
Fenilalanina	Phe	$C_9H_{11}NO_2$
Glicina	Gly	$C_2H_5NO_2$
Glutammina	Gln	$C_5H_{10}N_2O_3$
Isoleucina	Ile	$C_6H_{13}NO_2$
Istidina	His	$C_6H_9N_3O_2$
Leucina	Leu	$C_6H_{13}NO_2$
Lisina	Lys	$C_6H_{14}N_2O_2$
Metionina	Met	$C_5H_{11}NO_2S$
Prolina	Pro	$C_5H_9NO_2$
Serina	Ser	$C_3H_7NO_3$
Tirosina	Tyr	$C_9H_{11}NO_3$
Treonina	Thr	$C_4H_9NO_3$
Triptofano	Trp	$C_{11}H_{12}N_2O_2$
Valina	Val	$C_5H_{11}NO_2$

nanti gli studi effettuati negli anni '30 dai biochimici Linus Pauling e Robert Corey, riguarda le conformazioni locali delle molecole peptidiche. Le più rilevanti e note sono le cosiddette α-elica e β-foglietto, ovvero due conformazioni basilari dovute sia alla natura del legame peptidico, il quale a differenza del normale legame covalente ha una struttura **rigida e planare** che impedisce la rotazione tra i gruppi, che a **legami a idrogeno**, che si formano tra gruppi diversi presenti nella molecola. Nel primo caso, i legami a idrogeno si formano tra segmenti non adiacenti della catena polipeptidica (tre-quattro residui di distanza) e tendono a 'torcere' la molecola fino a fargli assumere una forma elicoidale intorno ad un immaginario asse centrale. Nel secondo caso, invece, i ponti a idrogeno si formano tra segmenti adiacenti della catena polipeptidica e la catena stessa assume una forma a 'zig-zag', oltre che una conformazione planare (da qui il nome 'foglietto'). Queste due strutture secondarie sono comuni e ritornano frequentemente nelle strutture complessive delle proteine.

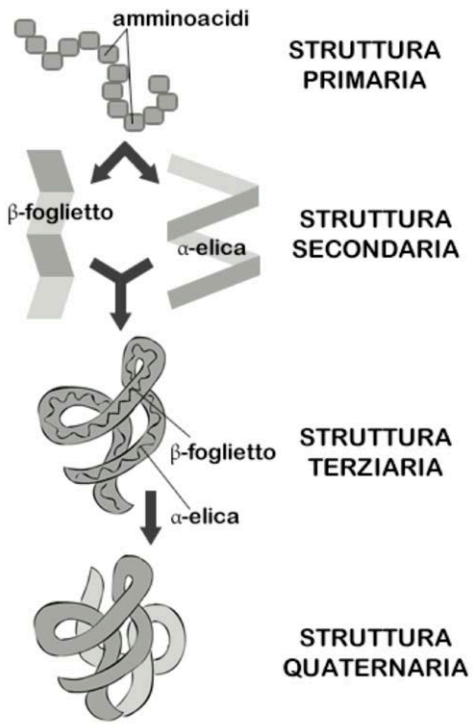

Figura 2.2 Rappresentazione schematica delle 4 conformazioni delle proteine.

Si parla invece di struttura terziaria delle proteine quando si ha una vera e propria forma tridimensionale, dovuta ad interazioni 'a lungo raggio', ovvero tra residui posizionati ad una certa distanza tra loro lungo la catena. Questo conferisce alla molecola una particolare conformazione spaziale alla quale spesso deve anche la sua capacità funzionale. Alla stabilità delle strutture terziarie concorrono anche altri importanti tipi di legame tra gruppi non adiacenti, detti **ponti disolfuro**, legami covalenti che si formano per ossidazione di due gruppi contenenti zolfo (o gruppi tiolici).

In certi casi una proteina può essere formata da più catene polipeptidiche (o subunità) non legate tra loro in maniera covalente. Si parla in questo caso di struttura quaternaria, facendo riferimento alla struttura tridimensionale della proteina e all'organizzazione esistente tra le subunità che la costituiscono.

Alla luce di queste regole basilari, le proteine vengono classificate in **fibrose** e **globulari**. In linea generale, le prime presentano un solo tipo di struttura secondaria e sono generalmente deputate a funzioni di resistenza meccanica e alla protezione, come ad esempio le proteine presenti nelle cellule epiteliali dei vertebrati. Le seconde, al contrario, presentano più tipi di struttura secondaria ed hanno in genere funzioni di regolazione, come le immunoglobuline o gli **enzimi**.

Quest'ultima categoria di proteine, gli enzimi appunto, è tra le più importanti ed è presente pressoché in ogni organismo vivente. Il compito principale degli enzimi è quello di agire come **catalizzatori** di molte reazioni biologiche, rendendo più veloci dei processi spontanei fondamentali per la vita, dalla lisi degli zuccheri alla formazione delle catene di acidi nucleici. Normalmente un enzima non agisce in maniera diretta sulla reazione chimica, ma tramite un supporto di tipo cinetico; l'enzima si lega alle molecole del substrato oggetto di reazione tramite un sito (**sito attivo**) e crea un complesso strutturale che facilita l'interazione tra le molecole. Una volta avvenuta la reazione (spontanea) tra le molecole, il complesso si separa e l'enzima può funzionare nuovamente. Gli enzimi vengono comunemente nominati utilizzando il suffisso *-asi* (trascrittasi, ligasi, lactasi ecc.).

Esercizi Unità 2

1. Il ruolo delle proteine in un organismo:

A. è limitato alla produzione di acidi nucleici.
B. è strettamente legato a poche funzioni vitali.
C. Non esiste un ruolo preciso, hanno molte funzionalità.
D. Non hanno nessun ruolo vitale.
E. entrano in gioco solo nella respirazione cellulare.

2. Le proteine, dal punto di vista molecolare, sono:

A. monomeri.
B. polimeri.
C. enantiomeri.
D. isomeri.
E. oligomeri.

3. I monomeri base delle catene polipeptidi sono:

A. gli alcoli.
B. i chetoni.
C. l'acqua.
D. i nucleotidi.
E. gli amminoacidi.

4. Il numero di amminoacidi presenti in natura è:

A. 20
B. 25
C. 57
D. 103
E. Non si sa con precisione.

5. Oltre al gruppo variabile (gruppo R), i tre gruppi costituenti un amminoacido sono:

A. un tiolo, un carbossile e un'aldeide.
B. un fenolo e due carbossili.
C. un chetone, un gruppo amminico e un azoto.
D. un gruppo amminico, un carbossile e un idrogeno.
E. un metile, un idrogeno e un carbossile.

6. Quale di questi gruppi è comunemente detto *gruppo amminico*:

A. CH_3
B. COOH
C. NaOH
D. NH_2
E. $C_6H_{12}O_6$

7. La conformazione cosiddetta ad 'α-elica' è una struttura proteica di tipo:

A. primaria.
B. secondaria.
C. terziaria.
D. quaternaria.
E. Nessuna di queste.

8. La conformazione cosiddetta a 'β-foglietto' è una struttura proteica di tipo:

A. primaria.
B. secondaria.
C. terziaria.
D. quaternaria.
E. Nessuna di queste.

9. Il legame peptidico è un legame covalente che possiede quale di queste proprietà:

A. è molto debole.
B. può formarsi solo in presenza di atomi di fosforo.
C. può liberamente ruotare intorno al proprio asse.
D. ha le stesse caratteristiche di un legame a idrogeno.
E. è rigido e planare.

10. La struttura tridimensionale terziaria di una proteina è data prevalentemente da:

A. interazioni con altre proteine.
B. interazioni tra amminoacidi adiacenti.
C. interazioni tra amminoacidi distanti nella catena.
D. interazioni con amminoacidi di proteine diverse.
E. interazioni con amminoacidi liberi.

11. La struttura quaternaria, quale tipo di proteine riguarda:

A. proteine formate da più sub-unità.
B. proteine enzimatiche.
C. proteine con massa molecolare inferiore a 100 kdalton.
D. proteine con massa molecolare superiore a 100 kdalton.
E. proteine di sintesi.

12. Qual è la funzione principale degli enzimi?

A. Catalizzano numerose reazioni biologiche.
B. Sono proteine strutturali somatiche.
C. Funzionano da pompe ioniche di membrana.
D. Regolano il flusso sanguigno nei vertebrati.
E. Trasportano l'informazione genetica.

Unità 3

Carboidrati

Se le proteine sono le molecole più abbondanti all'interno delle cellule, i carboidrati sono le molecole più abbondanti sull'intero pianeta. Questo grazie soprattutto alla trasformazione da parte delle piante del carbonio atmosferico (presente sotto forma di anidride carbonica, CO_2) in **glucosio**, uno zucchero fondamentale, attraverso il processo della **fotosintesi**. Questo processo di organicazione del carbonio è il primo fondamentale passo per ottenere, grazie ai numerosi processi metabolici di sintesi, tutti i molteplici tipi di molecole biologiche essenziali per la vita (proteine, lipidi ecc.).

Dal punto di vista chimico i carboidrati sono aldeidi e chetoni poliossidrilici, la cui formula generica è, nella maggior parte dei casi, $(CH_2O)_n$. Le molecole dei carboidrati sono genericamente organizzate in unità di questo tipo e, come per le proteine, possono formare dei **polimeri**, cioè macromolecole formate da gruppi elementari (detti **monomeri**) concatenati tra loro e uniti da particolari legami. Se nelle proteine il monomero fondamentale è l'amminoacido, nei carboidrati un gruppo singolo poliossidrilico aldeidico o chetonico è detto **monosaccaride**, o più comunemente zucchero semplice, che si trova normalmente stabile anche nella forma monomerica (ne sono esempi il già citato glucosio e il fruttosio, fig. 3.1).

Se queste unità di monosaccaridi si uniscono a formare un polimero, allora si distinguono gli **oligosaccaridi**, costituiti da catene 'corte' di monosaccaridi, in genere inferiori alle 20 unità (se le unità sono due si può parlare di disaccaridi, se sono tre trisaccaridi, e così via) e i **polisaccaridi** (detti anche **glicani**), formati da catene più lunghe di 20 unità. Tra gli oligosaccaridi, e in particolare i disaccaridi, troviamo il comunissimo saccarosio, lo zucchero che usiamo ogni giorno in cucina. I polisaccaridi, invece, sono i carboidrati detti anche complessi, come la cellulosa delle piante, l'amido o il glicogeno.

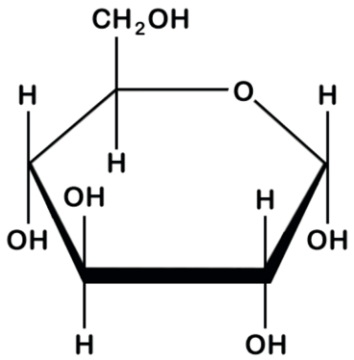

Figura 3.1 Molecola di glucosio (in configurazione alfa).

La funzione principale dei carboidrati in natura è quella di **fornire energia** agli organismi. I polisaccaridi più complessi, come ad esempio l'amido, vengono utilizzati come **riserva energetica** e vengono scomposti in monosaccaridi più semplici per essere utilizzati al momento del bisogno. I polisaccaridi complessi possono inoltre avere una notevole importanza come **materiale strutturale** biologico, basti pensare alla cellulosa delle piante, che garantisce la forma stabile dei fusti ma non è assimilabile dal punto di vista metabolico, tranne che dagli erbivori, organismi specializzati per la sua scomposizione e digestione. Un altro importante esempio di carboidrato complesso presente in natura è la **chitina**, che costituisce la componente principale dell'esoscheletro degli artropodi come insetti e crostacei.

Esistono anche una serie di funzionalità diverse dei carboidrati all'interno di un organismo, talvolta complesse ma fondamentali in molte reazioni fisiologiche e biochimiche, come le interazioni tra cellule o la coagulazione del sangue. Spesso questo tipo di funzionalità vengono svolte da carboidrati (in questi casi detti anche **carboidrati informazionali**) legati a proteine o lipidi a formare dei complessi detti **glicoconiugati** (proteoglicani, glicoproteine e glicolipidi).

Esercizi Unità 3

1. Il glucosio è uno dei prodotti del processo di:

A. fotosintesi.
B. decomposizione.
C. respirazione.
D. effetto serra.
E. catabolismo.

2. Dal punto di vista chimico, i carboidrati sono:

A. clorurati.
B. etili e metili.
C. idrossidi.
D. aldeidi e chetoni.
E. alcoli.

3. Qual è la formula base di gran parte dei carboidrati:

A. CH_2COOH
B. $(CH_3)_nCH$
C. $(CH_2O)_n$
D. CO_3
E. $(CH_2OH)_n$

4. L'unità monomerica di un carboidrato è:

A. un amminoacido.
B. un gruppo COOH.
C. un fosfolipide.
D. un monosaccaride.
E. un monofosfato.

5. Un glicano è:

A. un polisaccaride.
B. un polisolfato.
C. una proteina.
D. un fosfolipide.
E. una tossina.

6. Le principali funzioni dei carboidrati in un organismo sono:

A. formare la membrana cellulare e i canali ionici.
B. strutturare le parti ossee e cartilaginee.
C. formare i tessuti nervosi e i neurotrasmettitori.
D. azioni enzimatiche e ormonali.
E. garantire energia e riserve energetiche.

7. La cellulosa delle piante e la chitina degli insetti sono:

A. lipidi.
B. proteine.
C. carboidrati.
D. acidi nucleici.
E. tessuti mineralizzati.

Unità 4

Nucleotidi e acidi nucleici

I **nucleotidi** sono molecole che hanno un'importanza basilare nel funzionamento dei sistemi biologici. Oltre alla ben nota caratteristica di essere i costituenti base degli **acidi nucleici**, ovvero il **DNA** (**acido deossiribonucleico**) e l'**RNA** (**acido ribonucleico**), possono svolgere numerose funzioni all'interno della cellula, ad esempio agendo da messaggeri chimici.

Dal punto di vista della struttura molecolare, i nucleotidi sono formati da tre gruppi caratteristici: una **base azotata** (gruppo contenente azoto), un **pentosio** (zucchero a 5 atomi di carbonio) e un **gruppo fosforico** (gruppo contenente fosforo, fig. 4.1). Le basi azotate derivano sostanzialmente da due diverse molecole organiche (del tipo eterocicliche aromatiche), la **purina** e la **pirimidina**. La presenza della base derivata da una o dall'altra molecola differenzia i nucleotidi in due gruppi principali, i nucleotidi detti appunto con **base purinica** e i nucleotidi con **base pirimidinica**. Questa classificazione è importante nel momento in cui si affrontano i nucleotidi come componenti degli acidi nucleici. DNA e RNA sono infatti costituiti da 5 tipi diversi di nucleotidi, dei quali due a base purinica (**adenina** e **guanina**) e tre a base pirimidinica (**timina**, **citosina** e **uracile**). I due a base purinica sono condivisi tra DNA e RNA, così come la citosina, mentre la timina è presente solo nel DNA e l'uracile solo nel RNA.

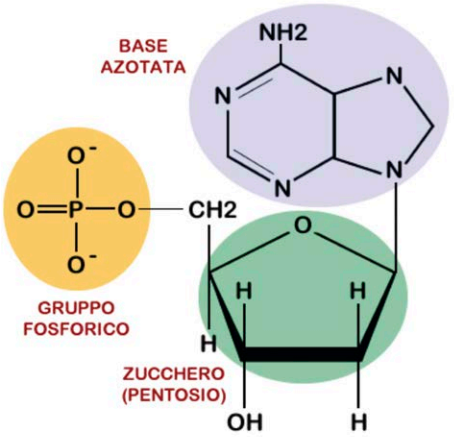

Figura 4.1 Schema di un nucleotide (con base adenina).

Le macromolecole di acido nucleico sono formate da una serie più o meno lunga (fino ad essere estremamente lunga) di nucleotidi (in questo contesto chiamati più comunemente **ba-**

si), legati tra loro da un particolare legame di natura covalente detto **legame fosfodiestere**. È noto ormai a tutti come negli acidi nucleici (e in particolare nel DNA) risieda l'**informazione genetica** degli organismi viventi. In sostanza, le catene di acidi nucleici sono il codice primario nel quale si trovano tutte le informazioni e i 'progetti di costruzione' per tutte le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e strutturali che identificano un organismo (l'insieme di tutte le tipicità di un organismo espresse tramite il suo codice genetico è detto **fenotipo**). È altrettanto nota la forma a **doppia elica** del DNA, scoperta da James Watson e Francis Crick e pubblicata in un articolo del 1953 sulla rivista «Nature». Il DNA, infatti, è presente in gran parte degli organismi sotto forma di 'doppia catena', ovvero due lunghe molecole polinucleotidiche adiacenti (chiamate generalmente **filamenti**), legate tra loro tramite **ponti a idrogeno** che si formano tra i rispettivi nucleotidi (fig. 4.2). La particolare conformazione spaziale delle molecole nucleotidiche e l'insieme delle interazioni deboli all'interno della catena, fanno sì che le due macromolecole assumano la nota forma di due eliche che si avvolgono l'una nell'altra. I legami a idrogeno, però, non possono formarsi indistintamente tra tutti i nucleotidi, ma soltanto tra precise coppie purina-pirimidina, ovvero tra guanina e citosina e tra adenina e timina (sostituita dall'uracile nel RNA). Questa specificità dei legami è molto importante, in quanto obbliga le due catene ad essere **complementari**, ovvero che una sia l'esatto stampo 'in negativo' dell'altra. Questa informazione 'raddoppiata' garantisce che in caso di danneggiamento di uno dei filamenti l'informazione possa essere recuperata; inoltre, la conformazione a doppia elica fornisce una maggiore stabilità chimica e strutturale alle molecole.

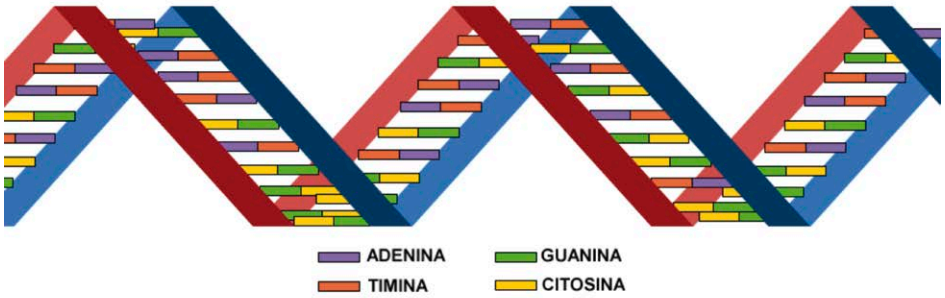

Figura 4.2 Schema di una molecola di DNA a doppia elica.

Se il DNA è la molecola che contiene l'intera informazione genetica, l'RNA è, dal punto di vista funzionale, la molecola che 'trasporta' questa informazione nei centri deputati alla sua espressione. Si distinguono in linea generale tre tipi principali di RNA: l'**RNA messaggero** (**mRNA**), l'**RNA di trasporto** o **transfer** (**tRNA**) e l'**RNA ribosomiale** (**rRNA**). Dal punto di vista molecolare le tre tipologie sono identiche, ovvero sono tutte formate da serie di nucleotidi pirimidinici e purinici (adenina, guanina, citosina e uracile). Ciò che li differenzia sono il contesto funzionale in cui sono inseriti. L'mRNA è il filamento che deriva direttamente dallo stampo di DNA e ne racchiude l'informazione, il tRNA ha un ruolo chiave durante il processo di **sintesi proteica**, mentre l'rRNA è una delle componenti strutturali dei ribosomi, sede cellulare della stessa sintesi proteica.

Esercizi Unità 4

1. Quali di questi composti è un acido nucleico?

A. Acido folico.
B. Cellulosa.
C. NADH.
D. Acetilcolina.
E. RNA.

2. Il monomero di una catena di acido nucleico è:

A. il nucleotide.
B. il monosaccaride.
C. il metile.
D. il carbammato.
E. il peptide.

3. Le componenti principali di un nucleotide sono:

A. un idrossido, un aldeide e un carbonio.
B. un gruppo fosforico, un solfato e un idrossido.
C. un gruppo metile, un peptide e un ossidrile.
D. una base azotata, un pentosio e un gruppo fosforico.
E. un chetone, un idrossido e un ossidrile.

4. In un nucleotide, le due basi puriniche sono:

A. timina e adenina.
B. uracile e guanina.
C. guanina e timina.
D. citosina e adenina.
E. adenina e guanina.

5. Quale di queste basi è presente solo nel RNA?

A. Adenina.
B. Guanina.
C. Timina.
D. Citosina.
E. Uracile.

6. Quale di queste basi è presente solo nel DNA?

A. Adenina.
B. Guanina.
C. Timina.
D. Citosina.
E. Uracile.

7. In una catena a doppia elica di DNA, tra quali coppie di basi si formano ponti a idrogeno?

A. Adenina-guanina, citosina-timina.
B. Guanina-timina,adenina-citosina.
C. Citosina-uracile; guanina-timina.
D. Adenina-timina; guanina-citosina.
E. Citosina-adenina; guanina-uracile.

8. Le molecole di RNA possono essere raggruppate in tre tipologie principali, che sono:

A. mRNA, hRNA e gRNA.
B. tRNA. mRNA e rRNA.
C. rRNA, kRNA e lRNA.
D. fRNA, mRNA e tRNA.
E. oRNA, sRNA e mRNA.

9. Nell'rRNA, la 'r' indica:

A. RNA reticolare.
B. RNA retinico.
C. RNA reattivo.
D. RNA restrittivo.
E. RNA ribosomiale.

10. Nel tRNA, la 't' indica:

A. RNA tubulare.
B. RNA di trascinamento.
C. RNA di trasporto.
D. RNA test.
E. RNA temporaneo.

Unità 5

Lipidi

I **lipidi**, conosciuti anche come grassi, sono una serie di composti molto diversi tra loro, accomunati dalla caratteristica di essere sostanzialmente insolubili in acqua. La loro principale funzione in natura è quella di essere utilizzati come riserva a lungo termine dell'energia, una sorta di magazzino delle risorse da utilizzare in caso di scarso apporto energetico dall'esterno. I lipidi rappresentano anche una componente fondamentale delle membrane cellulari e, soprattutto, alcune forme derivate, svolgono numerose e importanti funzioni, agendo ad esempio come messaggeri chimici, come cofattori enzimatici e persino come vitamine (le importanti e comuni vitamine A e D, ad esempio, sono molecole lipidiche).

Dal punto di vista chimico i lipidi sono derivati dagli **acidi grassi**, a loro volta derivati dagli idrocarburi. Gli acidi grassi presentano un **gruppo carbossilico** (COOH) e lunghe catene, dette **catene idrocarburiche,** di atomi di carbonio (fino a 36). La diversità nei legami chimici tra gli atomi di carbonio conferisce caratteristiche differenti alle catene. Quando tutti gli atomi di carbonio sono legati da un singolo legame covalente, le catene risultano sostanzialmente dritte; quando invece due (o più di due) atomi di carbonio si legano con un legame doppio, la catena in quel punto (o in quei punti) si piega (fig. 5.1). Nel primo caso si parla di **acidi grassi saturi**, nel secondo di **acidi grassi insaturi**, i quali possono essere **monoinsaturi** e **polinsaturi** nel caso si abbia rispettivamente uno o più di uno legami doppi.

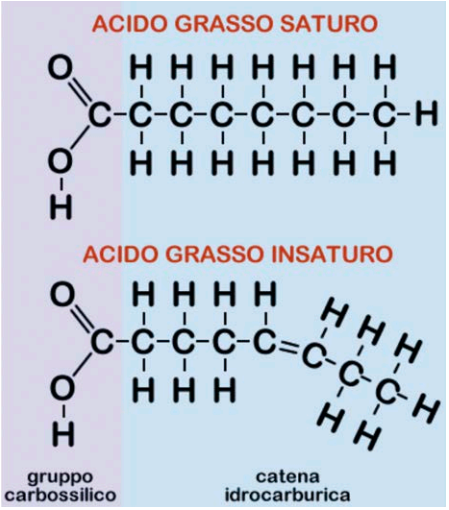

Figura 5.1 Schema della struttura molecolare degli acidi grassi.

Spesso gli acidi grassi vengono raffigurati come delle sorte di cerini, con la testa che rappresenta il gruppo carbossilico e lo stelo la catena idrocarburica. Nel caso degli acidi grassi saturi il cerino va immaginato dritto, mentre nel caso degli acidi grassi insaturi è più o meno pieghettato in base al numero di legami doppi. I lipidi, in linea generale, sono formati dall'unione di più acidi grassi di entrambe le tipologie in maniera variabile. La presenza di quantitativi diversi di acidi grassi saturi o insaturi conferisce inoltre una diversa struttura fisica al lipide. Ad esempio, mentre un acido grasso saturo con catena idrocarburica di una determinata lunghezza a temperatura ambiente può risultare di consistenza cerosa, un acido grasso insaturo della stessa lunghezza può risultare oleoso. Esempi comuni a tutti sono il burro (solido) e l'olio d'oliva (oleoso), due prodotti ad elevato contenuto lipidico ricchi di acidi grassi saturi il primo e di grassi insaturi il secondo. La temperatura può variare i rapporti tra le molecole modificando lo stato fisico del lipide, come infatti succede al burro, che se scaldato diviene oleoso. Il perché di questa differenza di stato è facilmente intuibile da ciò che si è detto della forma delle due tipologie di acidi grassi; infatti, essendo gli acidi saturi catene dritte, se 'impacchettati' insieme formano un corpo molto più solido, al contrario degli acidi insaturi che, data la loro forma 'pieghettata', tendono a distanziarsi maggiormente tra loro e a legarsi in maniera meno forte (fig. 5.2).

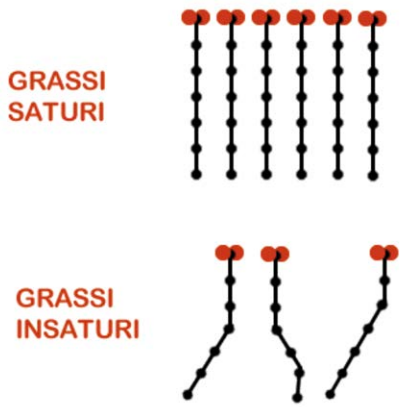

Figura 5.2 Schema strutturale di grassi saturi e insaturi.

I principali lipidi che invece costituiscono le membrane cellulari sono i **fosfolipidi**, molecole contente fosfato, che per lo loro caratteristiche molecolari vengono dette **anfipatiche**, ovvero presentano una parte **idrofila** (solubile in acqua) e una **idrofoba** (insolubile). La membrana, in sostanza, è formata da un doppio strato di queste molecole (e da una serie di suoi derivati), dove ogni strato 'guarda' all'altro tramite la parte idrofoba delle proprie molecole, mentre il lato idrofilo viene rivolto verso l'esterno e verso l'interno della cellula. Questa particolare conformazione della membrana le conferisce una serie di possibilità determinanti per il funzionamento della cellula stessa. In questo senso, un ruolo importante è rivestito anche dagli **steroli**, altri lipidi molto comuni che comprendono il ben noto **colesterolo**, presenti anch'essi come componenti delle membrane plasmatiche.

Esercizi Unità 5

1. Generalmente, i lipidi in acqua sono:

A. solubili.
B. ionici.
C. insolubili.
D. polarizzati.
E. liquidi.

2. I lipidi in generale sono derivati di quali composti?

F. Carbammati.
G. Acidi piruvici.
H. Monossidi.
I. Acidi grassi.
J. Ammine.

3. Le molecole degli acidi grassi si ottengono aggiungendo un gruppo COOH a quali composti?

A. Idrocarburi.
B. Carboidrati.
C. Idrossidi.
D. Nucleotidi.
E. Aldeidi e chetoni.

4. Le molecole degli acidi grassi si differenziano da un idrocarburo per la presenza di:

A. un azoto sul carbonio terminale.
B. un legame fosfodiesterico.
C. doppi legami.
D. un metile.
E. un gruppo carbossilico.

5. Le catene di acidi grassi insaturi si differenziano da quelle dei grassi saturi per:

A. la mancanza di un gruppo COOH.
B. un gruppo azotato sul carbonio alfa.
C. la mancanza di ponti a idrogeno.
D. la presenza di uno o più doppi legami.
E. la loro solubilità in acqua.

6. Una catena di un acido grasso monoinsaturo è caratterizzata dall'avere:

A. un solo gruppo carbossilico.
B. un solo doppio legame.
C. un solo metile.
D. un solo idrogeno sul carbonio alfa.
E. un solo ossigeno sul carbonio alfa.

7. I lipidi sono detti anfipatici quando:

A. sono catene molto corte.
B. presentano un chetone in entrambi gli estremi della catena.
C. sono presenti atomi di ferro.
D. hanno una parte idrofila e una idrofoba.
E. sono derivati dalla degradazione di zuccheri complessi.

Parte B – La cellula

Unità 1

Generalità

La **cellula** costituisce la base funzionale dei sistemi viventi. Sebbene esistano forme ritenute viventi prive di organizzazione cellulare, come ad esempio i virus e i prioni, le uniche unità capaci di vita propria, ovvero in grado di sviluppare autonomamente tutti i processi metabolici utili alla sopravvivenza (ed eventualmente anche alla replicazione di sé stesse), sono le cellule. All'interno delle cellule vengono svolti tutti i processi chimici e fisiologici di un organismo, anche notevolmente complessi, grazie a una serie di strutture altamente differenziate e dotate di proprietà e compiti specifici dette **organuli** (o **organelli**). Soprattutto sulla presenza o meno di una di queste, il **nucleo**, si distinguono le due grandi famiglie di cellule: le cellule **procariote** (o **procariotiche**) e le cellule **eucariote** (o **eucariotiche**, fig. 1.1). Le prime non possiedono una definita compartimentazione del nucleo, cosa che invece esiste nelle seconde, le quali prevedono una cosiddetta **membrana nucleare** ed un vero e proprio organulo definito.

Le cellule procariote esistono prevalentemente sotto forma di microrganismi unicellulari, detti appunto **procarioti**. Tra questi una gran parte è rappresentata da **batteri** (Eubatteri e Archeobatteri) e **cianobatteri** (un tempo noti anche come alghe azzurre), dei quali, soprattutto dei primi, ognuno di noi ha esperienza diretta (mai avuto necessità di un antibiotico?).

In linea di massima, le cellule procariote, oltre a non possedere un nucleo definito, sono relativamente più semplici dal punto di vista delle attività cellulari, data la mancanza anche di altri organuli e di particolari compartimentazioni interne. Sono inoltre generalmente molto più piccole delle eucariote dell'ordine di decine, centinaia fino a migliaia di volte.

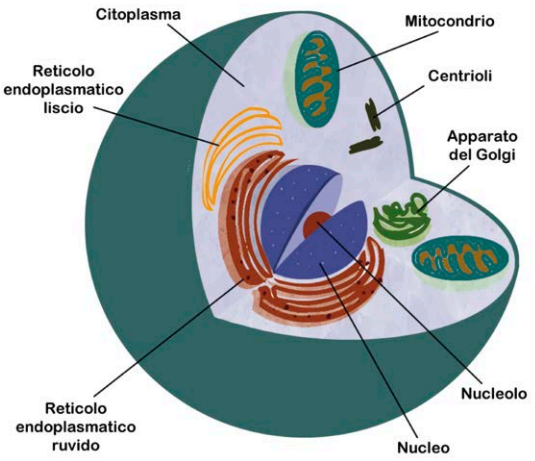

Figura 1.1 Schema generale di una cellula eucariote.

Anche le cellule eucariote possono esistere sotto forma di organismi unicellulari, detti **protozoi**, molto comuni anch'essi in natura e talvolta responsabili anche di patologie umane (ad esempio la malaria è una parassitosi dovuta a protozoi del genere *Plasmodium*). Le cellule eucariote, tuttavia, a differenza delle procariote che possono al massimo organizzarsi e collaborare tra loro tramite la formazione di colonie, possono strutturarsi in **tessuti**, ovvero possono instaurare degli stretti rapporti anche funzionali l'una con l'altra fino a formare dei complessi, i tessuti appunto, che sono le parti costituenti di ogni organismo superiore. Tutti gli organismi che prevedono la presenza di tessuti, e più in generale tutti gli organismi costituiti da cellule di tipo eucariote (non unicellulari), sono detti (non a caso) **eucarioti**. L'uomo, per fare un esempio, è un organismo eucariote, ma lo sono anche gli insetti, le lumache, gli alberi, i coralli, i funghi ecc. Un'ulteriore classificazione viene fatta tra eucarioti appartenenti al regno animale o al regno vegetale; nel primo caso si parla comunemente di **metazoi**, mentre nel secondo caso (meno comunemente) si parla di **metafiti**. Esistono infatti delle differenze sostanziali tra le cellule eucariote degli animali rispetto a quelle delle piante, una su tutte la presenza, in quest'ultime, dei **plastidi** (di cui fanno parte tra gli altri i cloroplasti), una serie di organuli fondamentali per il metabolismo della cellula (i cloroplasti, ad esempio, sono la sede della fotosintesi).

Esercizi Unità 1

1. Una cellula eucariote si differenzia da una procariote per:

A. la possibilità di riprodursi.
B. la presenza del DNA.
C. la presenza di membrana cellulare.
D. la presenza di compartimentazione nucleare.
E. l'assenza di proteine.

2. Le cellule procariote sono costitutive dei:

A. batteri.
B. protozoi.
C. metazoi.
D. metafiti.
E. funghi.

3. Quale di queste descrizioni è più appropriata per un protozoo?

A. Organismo pluricellulare con cellule procariote.
B. Organismo monocellulare con cellula procariote.
C. Organismo procariote con cellula eucariote.
D. Organismo monocellulare con cellula eucariote.
E. Organismo eucariote con cellula procariote.

4. I metazoi per definizione sono costituiti da:

A. cellule procariote.
B. cellule miste.
C. cellule prive di RNA.
D. cellule di medie dimensioni.
E. cellule eucariote.

5. I metafiti sono:

A. organismi pluricellulari costituiti da cellule eucariote vegetali.
B. organismi monocellulari costituiti da cellule procariote vegetali.
C. organismi pluricellulari costituiti da cellule eucariote animali.
D. organismi pluricellulari costituiti da cellule procariote animali.
E. organismi parassiti con cellule miste.

Unità 2

Membrana cellulare

La **membrana cellulare**, detta anche **membrana plasmatica** o **plasmalemma**, è l'involucro che racchiude il contenuto cellulare e attraverso il quale la cellula si interfaccia con l'ambiente esterno. La sua struttura non è però da immaginarsi come rigida e impermeabile, ma come un vero e proprio organo che svolge funzioni molto importanti tra cui il trasporto selettivo di numerosi elementi, da e verso l'interno della cellula, ed è il mezzo cui tramite il quale la cellula interagisce con le cellule adiacenti.

Dal punto di vista strutturale la membrana plasmatica è formata in prevalenza da un doppio strato di **fosfolipidi anfipatici**, ovvero molecole che possiedono una parte **idrofoba** (insolubile in acqua) e una **idrofila** (solubile in acqua) disposte come due fogli posti in maniera speculare l'uno sull'altro, avvicinati per la loro parte idrofoba (fig. 2.1). Immerse in questo doppio strato vi sono una serie di altre molecole di natura lipidica, proteica o carboidratica, che assolvono compiti specifici. Molto importanti sono le **proteine di membrana**, che svolgono numerose funzioni tra le quali quella di agire come **pompe** o **canali**. Queste proteine attraversano tutta la membrana e legano le sostanze che sono deputate a trasportare (ioni, zuccheri, amminoacidi ecc.) per poi trasferirle sia verso l'interno che verso l'esterno della cellula. Questo tipo di trasporto, che in genere avviene tramite la modificazione conformazionale della proteina, può avvenire con dispendio energetico da parte della cellula (**trasporto attivo**) o senza (**trasporto passivo**). A quest'ultima tipologia appartiene anche il trasporto **osmotico**, ovvero quel processo per cui si ha passaggio di solvente attraverso una membrana semipermeabile dal comparto a minor concentrazione verso quello a maggior concentrazione. Per molti soluti, la membrana plasmatica risulta semiperme-

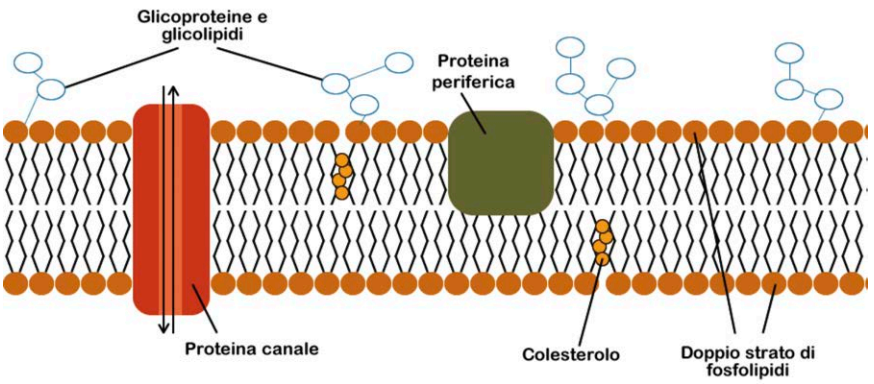

Figura 2.1 Schema di una generica membrana plasmatica.

abile, per cui la cellula in certi casi può essere in grado di 'regolare', attraverso la modifica della propria pressione osmotica (concentrazione del soluto), il trasporto di solvente (in genere acqua) tra il suo interno e l'esterno.

La particolare conformazione della membrana plasmatica le conferisce una certa **fluidità**, per cui i fosfolipidi strutturali, così come le molecole proteiche 'immerse' al suo interno, a temperature fisiologiche non sono rigidamente legate l'una all'altra, ma possono muoversi in maniera relativamente libera. Questa caratteristica è molto importante per la funzionalità della membrana, perché ad essa sono legate alcune funzioni fondamentali come la stessa semipermeabilità o la funzionalità delle proteine di membrana, le quali in questo modo sono libere di modificare la propria conformazione. Ad aiutare il mantenimento di questa particolare prerogativa della membrana c'è il **colesterolo**, un lipide al quale comunemente si attribuisce valore negativo, ma che invece è molto importante all'interno degli organismi proprio per questa sua capacità di funzionare come 'facilitatore' della fluidità di membrana. Quello che risulta negativo è un suo eccesso, dato che quantità superiori al normale fabbisogno tendono a depositarsi nei vasi sanguigni e ad accumularvisi fino, nei casi peggiori, ad ostruirli.

Lo strato più esterno della membrana e della cellula stessa è una sorta di strato semirigido o filamentoso costituito prevalentemente da molecole coniugate come glicoproteine e glicolipidi definito **glicocalice**. Il suo ruolo primario, oltre che di protezione meccanica per la cellula, è quello di recepire 'segnali' extracellulari, come ad esempio i messaggi ormonali; è inoltre il principale responsabile della coesione e dei rapporti tra cellule adiacenti. A questo stesso scopo, esistono anche delle vere e proprie **giunzioni**, che aiutano la stabilità delle connessioni e la comunicazione chimica tra cellule diverse; in base alle differenti funzionalità si distinguono **giunzioni occludenti** (che non mettono in comunicazione le cellule), **giunzioni comunicanti** (possono funzionare da canali e trasportare materiale) e **giunzioni aderenti** (solo di sostegno meccanico e strutturale). Fanno parte di quest'ultima categoria i **desmosomi**, filamenti di natura proteica che uniscono i **citoscheletri** di cellule adiacenti. L'interconnessione tra cellule è fondamentale per creare associazioni funzionali, ovvero per formare quelli che vengono chiamati i **tessuti** biologici, componenti indispensabili pressoché di ogni organismo vivente.

Esercizi Unità 2

1. Qual è la struttura fondamentale di una membrana plasmatica?

A. Uno strato proteico.
B. Un doppio strato di idrocarburi alifatici.
C. Un doppio strato di fosfolipidi anfipatici.
D. Uno strato di cellulosa.
E. Tre o più strati di gel proteico.

2. Le proteine dette 'canale':

A. sono specializzate per lo sviluppo embrionale.
B. trasportano RNA.
C. uniscono stabilmente cellule adiacenti.
D. trasferiscono sostanze attraverso la membrana plasmatica.
E. mettono in comunicazione il plasmalemma coi mitocondri.

3. L'osmosi che avviene attraverso la membrana cellulare è:

A. un processo restrittivo.
B. un trasporto passivo.
C. un evento metabolico.
D. un trasferimento di materiale inorganico.
E. un passaggio mediato da proteine canale.

4. La membrana cellulare è:

A. rigida.
B. impermeabile.
C. proteica.
D. solida.
E. fluida.

5. Il colesterolo è presente nella membrana plasmatica e serve a rendere la membrana più:

A. impermeabile.
B. leggera.
C. resistente.
D. fluida.
E. rigida.

6. Qual è la funzione principale del glicocalice?

A. Fornire energia e riserve per gli organismi.
B. Sostegno meccanico e interfaccia con l'esterno in una cellula.
C. Ridurre gli zuccheri complessi in zuccheri semplici.
D. Creare vescicole per l'esocitosi cellulare.
E. Formare il fuso mitotico.

7. Le giunzioni cellulari possono essere:

A. occludenti, comunicanti e aderenti.
B. divergenti, convergenti e aderenti.
C. concordanti, distanziate e combinate.
D. imperniate, rigide e planari.
E. concave, lineari e convesse.

8. I desmosomi sono:

A. strutture anatomiche cartilaginee.
B. strutture cellulari sede della sintesi proteica.
C. componenti del nucleo cellulare.
D. giunzioni cellulari aderenti.
E. i poli del fuso mitotico.

Unità 3

Citoplasma e organuli cellulari

1. Citoplasma

La rappresentazione classica della cellula eucariote mostra tutti gli organuli come immersi in una sorta di sostanza gelatinosa (*vedi* Unità 1, fig. 1.1). In realtà, l'interno della cellula è costituito da un sistema più complesso detto **citoplasma** (una matrice formata da una parte amorfa detta **ialoplasma** o **citosol**) e da una complicata compartimentazione prodotta da un **sistema membranoso interno**, costituito da membrane lipoproteiche, nel quale vi sono inseriti tutti gli organuli e una serie di inclusioni molecolari di varia natura (metaboliti, pigmenti, glucidi ecc.). La compartimentazione interna è molto importante perché i vari settori della cellula svolgano al meglio le proprie funzioni biochimiche e metaboliche.

2. Reticolo endoplasmatico

Il **reticolo endoplasmatico** (o **endoplasmico**) è un organulo complesso formato da strutture tubulari, cisterne, vescicole e piccoli sacchi, tutti delimitati da membrane lipoproteiche (che sono parte consistente del sistema membranoso interno). Il reticolo si suddivide in due regioni, quella detta del **reticolo endoplasmatico liscio** (**REL**) e quella detta del **reticolo endoplasmatico rugoso** o **ruvido** (**RER**, talvolta chiamato anche **granulare** con acronimo **REG**), le quali hanno compiti cellulari piuttosto diversi.

Il RER è la sede dei **ribosomi**, strutture fondamentali per la sintesi proteica. I ribosomi sono elementi formati da acidi nucleici (rRNA) e da proteine. I singoli ribosomi sono genericamente suddivisi in due subunità, dette **maggiore** e **minore**, ognuna delle quali è fortemente implicata nel processo di traduzione dell'informazione genetica in proteine (sintesi proteica). Il nome 'rugoso' di questa regione deriva proprio dalla presenza dei ribosomi sulla sua superficie, che gli conferisce un aspetto ruvido e granulare se osservato al microscopio elettronico.

Il REL, invece, è implicato in una serie più ampia di processi, che può cambiare da cellula a cellula, tra i quali quello della sintesi lipidica, del metabolismo di alcune molecole complesse (come i carboidrati) e della regolazione ionica del citoplasma.

Un organulo strettamente collegato al reticolo endoplasmatico è il cosiddetto **apparato del Golgi**, dal nome dello scienziato che per primo lo descrisse nel 1898. Questo organulo, in genere molto vicino anche al nucleo, è composto da una serie di strutture schiacciate e impilate (dette **cisterne appiattite**) che accolgono i prodotti del metabolismo cellulare (come proteine e lipidi), li stabilizzano chimicamente (tramite il processo detto di **glicosilazione**), per poi racchiuderli in

vescicole (una sorta di piccole sacche) di dimensioni variabili. Le vescicole fungono da vettori, e servono a trasportare le sostanze contenute verso determinati bersagli, sia all'interno che all'esterno della cellula. Essendo l'apparato del Golgi una struttura tendenzialmente schiacciata, vengono solitamente distinte le due 'facce'. La faccia detta **cis** è rivolta verso nucleo e reticolo endoplasmatico ed è caratterizzata dalla presenza delle sole cisterne appiattite, mentre l'altra, detta **trans**, è rivolta verso l'interno della cellula ed è quella che presenta le vescicole trasportatrici (dette anche vescicole **transfer**).

3. Mitocondri

I **mitocondri** sono organuli presenti nel citoplasma di tutte le cellule eucariote, sia vegetali che animali. Sono i centri energetici della cellula, ovvero, più correttamente, sono gli organuli deputati alla **respirazione cellulare**. Si presentano in genere come di forma cilindrica o capsulare e sono delimitati da due membrane, una esterna liscia ed una interna pieghettata a formare le cosiddette **creste mitocondriali**. Sono tra i più noti e se vogliamo affascinanti organuli cellulari, anche grazie alla loro particolare storia evolutiva che vuole che il loro sviluppo sia dovuto ad un'antica simbiosi mutualistica tra due batteri. Ne è testimonianza il fatto che i mitocondri possiedono un genoma proprio, indipendente dal resto della cellula.

La principale funzione dei mitocondri è quella di rifornire di energia le cellule tramite la produzione di una molecola deputata ad immagazzinare l'energia, l'**ATP** (acronimo di **adenosina trifosfato** o **adenosintrifosfato**). L'ATP è una molecola a base nucleotidica formata da una serie di radicali, tra i quali tre di tipo fosforico (gruppi contenenti fosforo). Due di questi sono legati tra loro da un particolare legame chimico nel quale è immagazzinata una notevole quantità di energia. Le molecole di ATP circolano in tutti i comparti cellulari e nei vari tessuti di un organismo fornendo loro l'energia che necessitano grazie alla rottura enzimatica del loro legame energetico. Una volta ceduta l'energia, la molecola di ATP si 'scarica' trasformandosi in **ADP**, o **adenosina difosfato**, e per funzionare nuovamente deve essere ricaricata attraverso la ricostruzione del legame ricco di energia, funzione svolta appunto dai mitocondri.

L'energia utile a ritrasformare l'ADP in ATP, proviene dalla demolizione delle molecole organiche come il **glucosio**. Questa molecola, se ossidata completamente a CO_2, può liberare energia fino a 680 kcal (chilocalorie):

$$C_6H_{12}0_6 + 60_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 680 \text{ kcal}$$

Questo processo di ossidazione e tutta la catena di reazioni necessarie per la produzione di ATP (la respirazione cellulare) vengono effettuati dalla cellula generalmente in tre fasi, dette **glicolisi**, **Ciclo di Krebs** e **fosforilazione ossidativa**, ognuna delle quali contribuisce in maniera diversa alla produzione di ATP (fig. 3.1). La prima avviene prevalentemente nello ialoplasma, mentre le altre due si svolgono all'interno dei mitocondri. I processi che caratterizzano queste fasi sono piuttosto complessi e coinvolgono altri agenti, uno su tutti il coenzima chiamato NAD, e non verranno qui approfonditi (consigliamo di consultare i testi utilizzati nella scuola secondaria). Quello che però è importante nuovamente ricordare è che questa serie di processi sono il carburante principale per le funzioni vitali della cellula, e di conseguenza di tutti gli organismi.

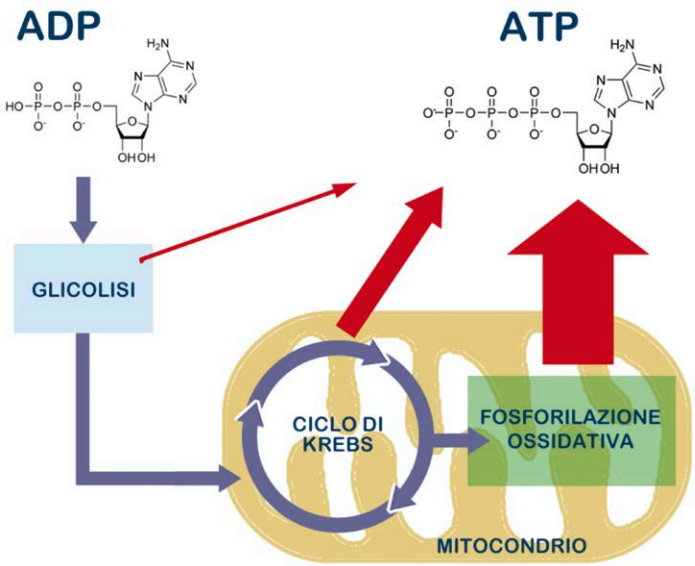

Figura 3.1 Schema delle fasi di respirazione cellulare. La diversa grandezza delle frecce simboleggia il diverso apporto delle varie fasi alla produzione di ATP.

4. Citoscheletro

Questa struttura cellulare riporta forse un po' impropriamente il nome di 'scheletro' nel proprio nome, dando l'idea di una sorta di struttura statica e rigida. In realtà il **citoscheletro** è un insieme di **strutture filamentose a base proteica** altamente dinamiche, che si formano, si assemblano e si ristrutturano in base alle necessità funzionali della cellula e di tutte le sue componenti, dando loro consistenza, forma e motilità. Il compito principale di questa struttura è infatti proprio quello di mantenere tutti gli organuli, i comparti e le varie strutture cellulari alla distanza ottimale l'uno dall'altro, una vera e propria 'organizzatrice' della cellula. È molto importante nelle cellule eucariote che ogni comparto sia ben delimitato e sistemato in maniera ottimale; in questo modo tutte le reazioni cellulari possono avvenire in maniera più o meno indipendente e contemporanea, a differenza di ciò che avviene nelle cellule procariote prive di una specifica compartimentazione, nelle quali le reazioni metaboliche devono in gran parte avvenire in maniera sfasata l'una dall'altra. Come è facile intuire questa capacità fornisce una maggiore efficacia funzionale all'intera cellula eucariote.

5. Nucleo

Il **nucleo** di una cellula eucariote (ricordiamo infatti che le cellule procariote non hanno una compartimentazione nucleare), oltre ad essere il 'cervello' per molti processi di sintesi del citoplasma, è la sede del patrimonio genetico della cellula stessa e contiene tutti i caratteri ereditari che saranno trasmessi alle cellule figlie a seguito della duplicazione.

Dal punto di vista strutturale il nucleo ha in genere una forma tondeggiante od ovoidale, ed è delimitato da una membrana a doppio strato simile a quelle del reticolo endoplasmatico (**membrana nucleare**), che permette un passaggio selettivo di ioni e molecole tramite piccole aperture detti **pori nucleari**. L'interno è composto da una serie di elementi tra i quali alcune piccole strutture, dette **nucleoli**, che sono prevalentemente la sede di formazione dell'RNA ribosomiale, un **nucleoscheletro**, simile al citoscheletro e che serve a favorire la stabilità strutturale dell'interno del nucleo, e un materiale granulare di natura proteica e nucleotidica detto **cromatina** (in quanto facilmente colorabile in laboratorio), elemento centrale durante la duplicazione cellulare. Questo può infatti organizzarsi in **cromosomi**, le strutture basilari per la trasmissione del patrimonio genetico (e, come vedremo, per la **variabilità** genetica) tra cellula madre e cellule figlie. La cromatina, suddivisa generalmente in **eucromatina** ed **eterocromatina** in base alla dimensione dei granuli (ma anche e soprattutto in base alla loro diversa funzione), è composta da DNA, RNA e da alcune proteine, tra le quali alcune dotate di una configurazione spaziale molto complessa, dette **istoni**, che svolgono un'importante funzione di 'impacchettamento' delle molecole nucleotidiche (DNA ed RNA) in granuli di cromatina, stabilizzandole meccanicamente e chimicamente.

Una delle più importanti funzioni che avvengono nel nucleo è la **trascrizione** del DNA, ovvero quel processo per cui una parte del genoma viene 'impresso' su di una molecola di RNA messaggero (mRNA) per poi venire trasportato fuori dal nucleo come stampo madre per la **sintesi proteica**. Come per altre funzioni delle cellule eucariote, la compartimentazione delle funzioni di trascrizione del DNA e la separazione dal resto della cellula permette una **regolazione** dell'espressione genica, ovvero la cellula produce ed espelle dal nucleo solo il materiale genetico che necessita in una determinata fase cellulare senza interferenze da parte di altre molecole o processi metabolici. Questo ovviamente non può avvenire nella cellula procariote, nella quale tutte le funzioni cellulari, comprese quelle di espressione e trascrizione del materiale genetico, avvengono tutte (o quasi) nello stesso ambiente.

Il nucleo svolge inoltre importanti funzioni durante tutte le fasi della duplicazione cellulare, modificando profondamente la propria struttura e le proprie funzioni.

Esercizi Unità 3

1. Gli organuli cellulari sono inseriti in una sostanza detta:

A. citoplasma.
B. plasmalemma.
C. plasmodio.
D. citocinesi.
E. citostoma.

2. Oltre alla matrice ialoplasmatica, il citoplasma comprende:

A. un proto nucleo.
B. un glicocalice.
C. un sistema membranoso interno.
D. filamenti di cellulosa.
E. cristalli salini.

3. Quali sono i due tipi di reticolo endoplasmatico?

A. Lineare e matriciale.
B. Convesso e concavo.
C. Interno e esterno.
D. Liscio e rugoso.
E. Rigido e elastico.

4. Al RER, quali importanti strutture cellulari sono legate?

A. Ribosomi.
B. Nucleoli.
C. Mitocondri.
D. Centrioli.
E. Tubuli del fuso mitotico.

5. I ribosomi sono:

A. organuli cellulari implicati nella esocitosi.
B. membrane extracellulari.
C. proteine canale di membrana.
D. enzimi lipolitici.
E. strutture cellulari implicate nella sintesi proteica.

6. Quale di questa affermazione sui mitocondri è corretta?

A. Sono centri di espressione genica della cellula.
B. Sono organuli preposti alla respirazione cellulare.
C. Sono comparti di sintesi proteica della cellula.
D. Sono più pesanti della cellula che li contiene.
E. Sono la parte più mobile della cellula.

7. Dal punto di vista genetico, i mitocondri quale caratteristica hanno?

A. Sono privi di materiale genetico.
B. Sono costituiti interamente da acidi nucleici.
C. Possiedono un enzima per la digestione del DNA.
D. Hanno un DNA diverso da quello del resto della cellula.
E. Possiedono solo RNA.

8. L'ATP (adenosina trifosfato) è:

A. una proteina canale di membrana.
B. un trasportatore attivo di prodotti di sintesi.
C. un acido grasso che facilita la fluidità di membrana.
D. una parte del RER.
E. una molecola energetica.

9. L'ADP (adenosina difosfato) è:

A. una molecola di ATP priva di un gruppo fosfato.
B. una parte del sistema membranoso interno.
C. un metabolita implicato nella esocitosi.
D. una molecola con le stesse funzioni dell'ATP nei procarioti.
E. un prodotto della lipolisi.

10. Quali di questi processi energetici avviene prevalentemente nei mitocondri?

A. Glicolisi e ciclo di Krebs.
B. Ciclo di Krebs e fotosintesi.
C. Glicolisi e fosforilazione ossidativa.
D. Fosforilazione ossidativa e fotosintesi.
E. Ciclo di Krebs e fosforilazione ossidativa.

11. Il citoscheletro è:

A. una struttura cellulare calcificata alla quale gli organuli si legano.
B. la parte più esterna della membrana cellulare.
C. una struttura cellulare proteica di sostegno non rigida.
D. un comparto a competenza enzimatica.
E. un sinonimo di citoplasma.

12. Quale di queste affermazioni sul nucleo cellulare è corretta?

A. È presente solo nei procarioti.
B. Contiene la gran parte del materiale genetico della cellula.
C. Ha un DNA diverso da quello del resto della cellula.
D. È racchiuso da una membrana di cellulosa.
E. Non si divide durante la mitosi.

13. Quali di questi non è un elemento del nucleo cellulare?

A. Nucleoscheletro.
B. Membrana nucleare.
C. Nucleolo.
D. Pori nucleari.
E. Nucleocisti.

14. Il principale componente della cromatina del nucleo cellulare è:

A. il citoplasma.
B. il DNA.
C. l'ATP.
D. il centrosoma.
E. il glicocalice.

15. Gli istoni sono:

A. carboidrati interni al nucleo cellulare.
B. parti di acidi nucleici.
C. prodotti della demolizione degli zuccheri.
D. proteine strutturali presenti nella cromatina.
E. ormoni cellulari.

16. In una cellula eucariote, dove avviene la trascrizione del DNA?

A. Nei ribosomi.
B. Nell'apparato del Golgi.
C. Nei centrioli.
D. Nel nucleo.
E. Nei mitocondri.

Unità 4

Esocitosi ed endocitosi

Tutti i processi metabolici cellulari necessitano di nuovo carburante sotto forma di molecole organiche come zuccheri, grassi e proteine per funzionare. Ma come in ogni organismo anche più complesso della singola cellula, non tutto ciò che si introduce viene utilizzato e i rifiuti devono essere espulsi. Inoltre devono poter fuoriuscire anche prodotti utili sintetizzati all'interno della cellula e destinati altrove, come ad esempio gli ormoni. Per eseguire queste operazioni entrano in gioco diversi meccanismi, uno su tutti la capacità della membrana plasmatica di essere molto mobile, quindi di piegarsi, di **invaginarsi** (creare delle sorte di sacche) e di consentire il distacco alcune sue parti. Si definisce **endocitosi** un processo attraverso il quale un materiale presente nello spazio extracellulare viene introdotto all'interno della cellula attraverso una modificazione della membrana plasmatica. Vi sono in linea generale tre tipi di endocitosi: i) la **fagocitosi**, tipicamente il metodo di nutrizione dei batteri, nel quale si assiste alla formazione di grandi dilatazioni della membrana che racchiudono il materiale da introdurre per poi trasportarlo in grandi vesciche verso i centri digestivi interni; ii) la **pinocitosi**, un sistema di introduzione diretta non specializzato di materiale liquido diverso dall'acqua, e iii) **l'endocitosi mediata da recettori**. In quest'ultimo sistema, alcuni recettori di membrana riescono ad identificare il materiale da introdurre, vi si legano e provocano la formazione di invaginazioni e sacche nella membrana che lo racchiudono trasportandolo infine verso interno.

L'**esocitosi** è invece il processo opposto, di espulsione del materiale sia di scarto che prodotto dalla cellula stessa. In questo caso entra normalmente in gioco l'**apparato del Golgi**, struttura intimamente collegata al reticolo endoplasmatico che ha la possibilità di creare delle **vescicole** nella sua faccia trans (quella rivolta verso il citoplasma) le quali inglobano il materiale da espellere e lo trasportano fino a delle determinate aree attive della membrana alle quali si legano, aprendosi poi verso l'esterno e liberando il materiale (fig. 4.1).

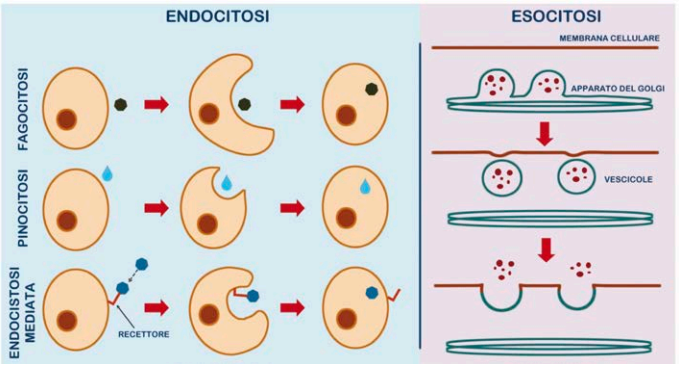

Figura 4.1 Schema dei sistemi di endocitosi ed esocitosi.

Esercizi Unità 4

1. L'endocitosi è:

A. una reazione di glicolisi all'interno del nucleo.
B. la distruzione enzimatica del sistema membranoso interno.
C. il sistema di trasporto di RNA verso i ribosomi.
D. il sistema di introduzione di materiali nella cellula.
E. l'allineamento dei cromosomi nella divisione cellulare.

2. L'esocitosi è:

A. un metodo di trasporto passivo della membrana nucleare.
B. un enzima proteolitico.
C. il sistema di espulsione di materiale dall'interno della cellula.
D. la prima reazione della sintesi proteica.
E. una parte della respirazione cellulare.

3. La pinocitosi è:

A. un metodo di endocitosi per materiali liquidi.
B. un sistema di stabilizzazione chimica del DNA.
C. un enzima per la digestione dei carboidrati complessi.
D. una componente proteica dell'apparato del Golgi.
E. un sistema di condensazione del citosol.

4. Qual è la struttura cellulare maggiormente implicata nella esocitosi?

A. Nucleo.
B. Mitocondrio.
C. Apparato del Golgi.
D. RER.
E. Centriolo.

Unità 5

La riproduzione cellulare

La cellula costituisce la base strutturale di tutti gli organismi viventi e in qualche modo ne riassume le caratteristiche. Una cellula di fatto si nutre, produce sostanze di scarto, comunica con l'esterno, si difende dalle interferenze esterne e, soprattutto, si riproduce. La riproduzione della cellula avviene in linea generale tramite una **divisione** della cellula stessa in due (o più) cellule figlie, le quali possono essere sia identiche dal punto di vista genetico tra loro e con la cellula madre, che presentare delle differenze. Nel primo caso il processo viene genericamente detto **mitosi**, anche se in senso stretto la mitosi si riferisce ad una delle tre principali fasi del **ciclo cellulare**, ovvero le fasi vitali della cellula prima, dopo e durante la divisione. Le altre due fasi sono l'**interfase** (precedente alla mitosi) e la **citocinesi** (successiva). Il secondo tipo di divisione cellulare è la **meiosi**, ed è un processo simile da certi punti di vista alla mitosi ma che produce cellule figlie che hanno un **corredo cromosomico** (numero di **cromosomi**, vedi sotto) ridotto a metà. Vediamo qualche approfondimento in più.

1. Mitosi

Come detto, il risultato della divisione mitotica di una cellula sono due cellule figlie geneticamente identiche tra loro e alla cellula madre. Questo processo avviene tipicamente nelle cellule **somatiche** degli organismi, ovvero non gametiche, come ad esempio quelle epiteliali, in quanto le cellule figlie **devono** essere identiche a quelle madri per garantire la continuità funzionale dell'apparato. Tutto il processo mitotico si articola in varie fasi ben definite (fig. 5.1). Vediamole in breve.

- **Interfase**: precedente alla mitosi vera e propria, è la fase di preparazione alla divisione, nella quale la cellula duplica il proprio DNA e accresce i suoi organuli.
- **Mitosi**: la stessa fase mitotica può essere suddivisa in 5 ulteriori fasi:
  1) **profase**, all'interno del nucleo la cromatina (contenente il DNA e una serie di proteine) si condensa (i filamenti si torcono in una sorta di lunga 'matassa') in **cromosomi**, strutture tipicamente rappresentate come delle 'X', formate dall'unione, tramite una parte detta **centromero**, di due sub-unità (dette **cromatidi**) identiche tra loro e derivate dalla replicazione avvenuta in interfase. Il numero di cromosomi varia notevolmente tra organismi diversi e nel loro insieme è conservato l'intero patrimonio genetico. Una struttura posta nelle immediate vicinanze del nucleo detta **centrosoma**, inizia a produrre dei filamenti tubulari e a spingere due coppie di piccole strutture ad esso connesse (dette **centrioli**) verso i due poli della cellula;
  2) **prometafase**, i centrioli si uniscono l'uno con l'altro tra poli opposti tramite i microtubuli prodotti dal centrosoma, fino formare una struttura fusiforme detta **fuso mitotico**. La membrana nucleare inizia a disgregarsi e a liberare i cromosomi;

3) **metafase**, i cromosomi tendono a disporsi verso la zona equatoriale del fuso, disponendo poi sullo stesso piano tutti i loro centromeri;
4) **anafase**, i cromosomi si ridividono in singoli cromatidi staccandosi dal centromero, e **migrano** verso poli opposti, ognuno verso il polo a cui è rivolto trascinati e guidati dai microtubuli del fuso;
5) **telofase**: i cromatidi, una volta raggiunto il proprio polo del fuso, vengono incapsulati in una nuova membrana nucleare, formando così due nuovi nuclei identici a quello della cellula madre.

- **Citocinesi**: la membrana cellulare crea una 'strozzatura' tra i due nuclei che si approfondisce sempre di più fino a separare le due cellule figlie.

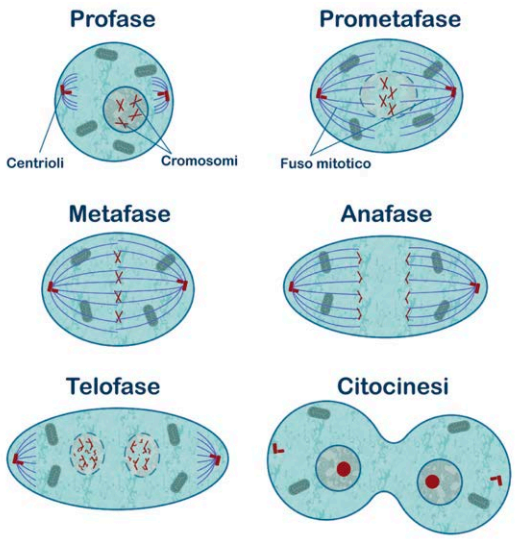

Figura 5.1 Schema delle fasi della mitosi.

2. Meiosi

La meiosi come detto ha molti tratti in comune con la mitosi, con la fondamentale differenza che dalla divisione meiotica vengono prodotte, da una sola cellula, 4 cellule figlie con corredo cromosomico **aploide** (ovvero la metà della cellula madre, **diploide**). Questo processo è alla base della formazione dei **gameti**, ovvero quelle cellule che, unendosi tramite riproduzione **sessuata** di due individui, daranno vita allo **zigote**, cioè il primo passo cellulare verso la formazione di un nuovo individuo.

Le fasi generali della meiosi sono una **fase S** (o **interfase I**, di duplicazione del DNA) e due successive divisioni cellulari, dette **prima** e **seconda divisione meiotica**. In questo modo, con la singola duplicazione del DNA della cellula madre, il corredo cromosomico *2n* viene portato a *4n*, che diverrà *1n* grazie alla doppia divisione successiva (fig. 5.2). Alla fine del processo di divisione meiotica si hanno dunque 4 cellule aploidi, le quali, in buona parte degli organismi a riproduzione sessuata, si differenzieranno in gameti maschili (**spermatozoi**), tramite il processo detto di **spermatogenesi**, e, nel caso di individui femminili, in **oociti** (od **ovociti**), tramite il cosiddetto processo di **ovogenesi**.

Le fasi delle due divisioni sono molto simili a quelle della mitosi; vengono classificate in base alla divisione meiotica di appartenenza con **profase**, **metafase**, **anafase** e **telofase I e II**, e differiscono parzialmente nella loro lunghezza e nelle loro funzioni. La profase I, ad esempio, è una fase molto lunga e più complessa rispetto alla profase II e nella quale avviene il processo probabilmente più importante della meiosi, il cosiddetto ***crossing-over***. Il *crossing-over* è quel fenomeno per il quale, durante uno specifico momento della profase I detta **pachitene**, i cromosomi omologhi di origine paterna e materna della cellula si appaiano e si scambiano materiale genetico, ovvero frammenti dei cromatidi **non-fratelli** (cioè *non* appartenenti allo stesso cromosoma ma all'omologo) si sostituiscono tra loro, andando a prendere l'uno il posto dell'altro. L'intero patrimonio genetico delle cellule figlie, quindi, sarà sostanzialmente diverso rispetto a quello della cellula madre, in quanto possiederà non solo cromosomi provenienti dal padre o dalla madre in proporzione casuale (grazie alla seconda divisione meiotica), ma gli stessi cromosomi avranno alcuni tratti che derivano dall'omologo dell'altro sesso, grazie proprio al processo di *crossing-over*.

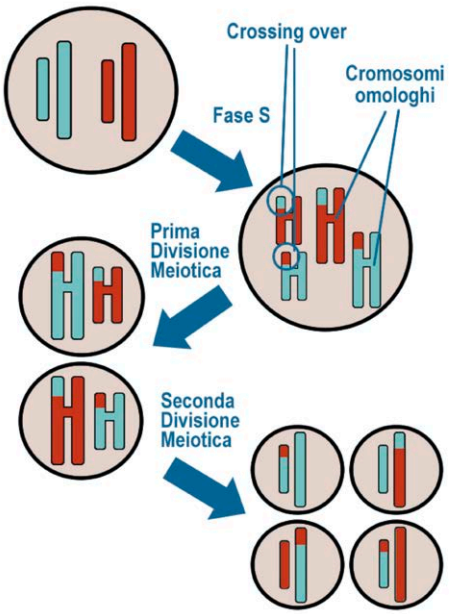

Figura 5.2 Schema delle fasi della meiosi.

Questo elemento è di fondamentale importanza ed è uno dei fenomeni più importanti per la vita stessa e per la sua persistenza sul pianeta. Infatti il patrimonio genetico dei figli di due individui di una specie a riproduzione sessuata risulterà **sempre** significativamente diverso (anche se i geni saranno sostanzialmente gli stessi ma ampiamente 'rimescolati') rispetto a quello di entrambi i genitori, per quanto ne siano discendenza diretta. Viene garantita così una elevata **variabilità genetica** all'interno della specie, che di fatto è la base fondamentale perché avvenga il processo detto di **selezione naturale,** teorizzato da Charles Darwin nel 1859. La selezione naturale, in breve, è quel meccanismo per il quale una specie ha una certa probabilità di adattarsi ai mutamenti nelle condizioni ambientali (ad **evolversi**) grazie alla 'selezione' degli individui che sono fenotipicamente (e di conseguenza geneticamente) in grado di resistere a tali variazioni e quindi potenzialmente in grado di riprodursi, potendo trasmettere alle generazioni successive il proprio patrimonio genetico (il contributo genetico in termini di prole di un fenotipo alla generazione successiva viene definito **fitness**). È chiaro come questo processo necessiti di individui che presentino un maggior numero possibile di fenotipi (e dunque genotipi) per poter funzionare. Questo concetto verrà comunque affrontato in maniera più approfondita nella sezione dedicata.

Va comunque specificato che esistono anche altri fattori che comportano delle variazioni nel patrimonio genetico, altrimenti non si spiegherebbero diversi alleli per lo stesso gene. Esistono infatti numerosi fenomeni di **mutazione genetica** che avvengono durante le replicazioni del DNA, sia per fattori casuali che per errori nella replicazione stessa, talvolta facilitati da agenti esterni cosiddetti **genotossici**. Queste possono essere di vario genere e avvenire in numerosi modi, ma il risultato è sempre quello di modificare la sequenza nucleotidica della catena di DNA, talvolta in maniera da non modificare l'espressione del gene, altre volte comportando delle effettive variazioni fenotipiche, con conseguenze più o meno evidenti sull'intero organismo o sulla sua prole.

Esercizi Unità 5

1. La fase che prepara la cellula alla divisione viene detta:

A. telofase.
B. anafase.
C. interfase.
D. metafase.
E. trifase.

2. Al termine della divisione mitotica, le cellule figlie:

A. saranno 2 con corredo cromosomico dimezzato rispetto alla cellula madre.
B. saranno 4 con corredo cromosomico dimezzato rispetto alla cellula madre.
C. saranno 2 con corredo cromosomico doppio rispetto alla cellula madre.
D. saranno 2 con corredo cromosomico identico alla cellula madre.
E. saranno 4 con corredo cromosomico identico alla cellula madre.

3. La principale struttura cellulare implicata nella formazione del fuso mitotico è:

A. il nucleo.
B. l'apparato del Golgi.
C. la membrana cellulare.
D. il glicocalice.
E. il centrosoma.

4. I centrioli sono strutture:

A. derivate dalla membrana nucleare che trasportano materiale genetico tra i nuclei delle cellule figlie.
B. prodotte dal nucleo della cellula madre che stabilizzano il fuso mitotico posizionandovisi all'equatore.
C. libere che producono i tubuli del fuso mitotico.
D. di origine enzimatica che aiutano la disgregazione della membrana nucleare della cellula madre.
E. facenti parte del centrosoma che diverranno i poli del fuso mitotico.

5. Il corretto ordine temporale delle varie fasi della divisione mitotica è:

A. interfase, profase, prometafase, metafase, anafase, telofase, citocinesi.
B. prometafase, profase, interfase, anafase, citocinesi, metafase, telofase.
C. profase, prometafase, interfase, telofase, anafase, citocinesi, metafase.
D. anafase, profase, citocinesi, prometafase, telofase, metafase, interfase.
E. metafase, profase, interfase, prometafase, telofase, citocinesi, anafase.

6. Al termine della divisione meiotica, le cellule figlie:

A. saranno 2 con corredo cromosomico dimezzato rispetto alla cellula madre.
B. saranno 4 con corredo cromosomico dimezzato rispetto alla cellula madre.
C. saranno 2 con corredo cromosomico doppio rispetto alla cellula madre.
D. saranno 2 con corredo cromosomico identico alla cellula madre.
E. saranno 4 con corredo cromosomico identico alla cellula madre.

7. Durante la divisione meiotica, avviene il processo di *crossing-over*, il quale consiste:

A. nell'unione dei centromeri dei cromosomi e separazione dei cromatidi.
B. nel passaggio di materiale genetico tra l'interno e l'esterno della cellula.
C. nel flusso di DNA tra i nuclei delle cellule figlie.
D. nello scambio di materiale genetico tra cromosomi omologhi.
E. nella duplicazione dei cromatidi fratelli.

8. In quale fase della meiosi avviene il processo di *crossing-over*?

A. Anafase I.
B. Metafase II.
C. Profase I.
D. Fase S.
E. Telofase II.

9. Quale tra le due tipologie di duplicazione cellulare (meiosi e mitosi) garantisce la variabilità genetica in una popolazione?

A. La meiosi.
B. La mitosi.
C. Entrambe in egual misura.
D. Nessuna delle due.
E. Entrambe, ma con un maggiore apporto della mitosi.

10. La meiosi è un processo fortemente legato alla riproduzione sessuata degli organismi, in quanto le cellule figlie:

A. possiedono particolari strutture detti flagelli e possono muoversi verso gli oociti.
B. si accrescono e maturano in cellule somatiche.
C. andranno a formare le gonadi.
D. sono zigoti totipotenti.
E. diverranno gameti maschili e femminili.

Unità 6

La cellula vegetale

La cellula vegetale è in gran parte simile ad una cellula eucariote tipo, ma si differenzia soprattutto per tre strutture fondamentali, la **parete cellulare,** i **vacuoli**, e i **plastidi** (fig. 6.1).

La **parete cellulare** è una struttura più o meno rigida connessa intimamente alla parte esterna della membrana plasmatica ed è formata in gran parte da **cellulosa**, oltre che da altri polisaccaridi e alcune glicoproteine. Le catene di cellulosa, lunghi polimeri di **cellobiosio** (un disaccaride), si organizzano in filamenti detti **microfibrille**, i quali si orientano parallelamente tra loro a formare una tessitura estremamente elastica, detta **parete primaria**, che può espandersi fino a decine di volte durante l'accrescimento della cellula. Raggiunte le dimensioni giuste, all'interno della parete primaria si forma una seconda parete molto più rigida, detta **parete secondaria**, formata da una serie di strati sovrapposti di microfibrille parallele, in genere posti ortogonalmente l'uno con l'altro. Questa struttura garantisce alla cellula scarsa permeabilità ed un'alta resistenza meccanica contro gli urti.

I **vacuoli** sono delle vere e proprie 'sacche' piene di liquido sparse all'interno della cellula, spesso unite in un unico grande vacuolo centrale, e principali responsabili del **turgore** cellulare. Nel liquido presente all'interno dei vacuoli, prevalentemente formato da acqua, vi sono disciolte una serie di molecole organiche e ioni. La variazione nella concentrazione di queste sostanze disciolte modifica la **pressione osmotica** del vacuolo, richiamando più o meno acqua al suo interno; più acqua è presente, più il vacuolo si 'gonfia' e più la cellula (ad esempio di una foglia) diviene rigida (turgida). Basta infatti pensare a come si affloscia una pianta scarsamente annaffiata, a causa proprio dalla scarsità di liquido nei vacuoli e quindi dal basso turgore cellulare.

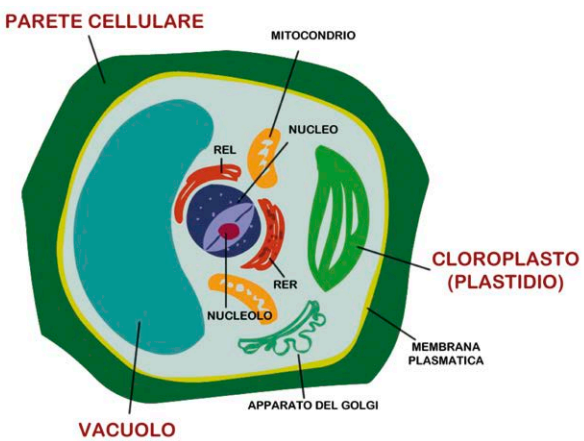

Figura 6.1 Schema generico di una cellula vegetale. Scritte in maiuscolo, le strutture esclusive.

I **plastidi** sono organuli anch'essi delimitati da una membrana, contenenti un materiale fluido detto **stroma**, e possono assolvere a varie funzioni. Si distinguono generalmente in **leucoplasti** e **cromatofori**. I primi, come si può comprendere dal nome, sono normalmente privi di pigmenti colorati e hanno prevalentemente la funzione di sintetizzare gli **amidi**, carboidrati di riserva (infatti sono più comuni nelle cellule delle radici); i secondi, invece, si suddividono a loro volta in **cromoplasti** (o **cromatoplasti**) e in **cloroplasti**. Ciò che distingue profondamente queste due categorie è l'attività di **fotosintesi**, quel processo per il quale le piante sono in grado di trasformare carbonio inorganico come il biossido di carbonio (o anidride carbonica, CO_2) in molecole organiche come il glucosio. I cromoplasti sono ricchi di pigmenti e sono responsabili, tra le altre cose, della colorazione dei fiori e dei frutti, ma, al contrario dei cloroplasti, non hanno la capacità di fotosintesi. Per il processo di fotosintesi è fondamentale un particolare pigmento di colore verde, la **clorofilla**, che ha la capacità di sfruttare la luce solare per generare l'energia utile per far sì che avvenga la reazione di **riduzione** da carbonio ossidato (sotto forma di anidride carbonica) a carbonio ridotto (sotto forma di glucosio), liberando al contempo ossigeno. Tipicamente, la reazione della fotosintesi può essere riassunta in questo modo:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{Luce solare} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Ovviamente, tutto questo processo non è così diretto ma presuppone alcune fasi che mettono in gioco tra le altre cose molecole energetiche di ATP e coenzimi come il NADP (simile al NAD che si trova nei mitocondri). La fotosintesi si divide in due principali fasi, la **fase luminosa**, durante la quale viene acquisita energia tramite la luce del sole e la **fase oscura**, nella quale viene utilizzata l'energia raccolta per far funzionare tutte le reazioni e i processi che portano alla formazione delle molecole organiche (l'insieme di tutte le reazioni della fase oscura viene detto **Ciclo di Calvin**).

Esistono in natura altre tipologie di fotosintesi, anche maggiormente efficienti dal punto di vista produttivo (come le cosiddette piante C3, C4 e CAM) o che sfruttano nella reazione oltre alla CO_2 molecole diverse dall'acqua (come gli acidi di zolfo), ma la gran parte delle piante utilizza la fotosintesi sopra descritta, detta comunemente **fotosintesi clorofilliana**.

Esercizi Unità 6

1. Quale di queste strutture cellulari è esclusiva delle cellule vegetali?

A. Mitocondrio.
B. Ribosoma.
C. Plastidio.
D. Nucleolo.
E. Citoscheletro.

2. In una cellula epiteliale di un ratto, cosa è impossibile trovare:

A. il citoscheletro.
B. i centrioli.
C. il DNA.
D. la parete cellulare.
E. l'apparato del Golgi.

3. La parete cellulare è:

A. un sinonimo di membrana plasmatica nei procarioti.
B. una struttura derivata dal glicocalice tipica delle cellule epiteliali.
C. la membrana nucleare durante la mitosi.
D. la parte più esterna del fuso mitotico.
E. la parte più esterna della cellula vegetale.

4. Nelle cellule vegetali, una delle funzioni principali dei vacuoli è:

A. fotosintetizzare.
B. facilitare il passaggio di luce solare.
C. ridurre il peso meccanico della pianta.
D. trasportare liquidi verso l'esterno della cellula.
E. regolare il turgore.

5. I leucoplasti sono:

A. mitocondri specializzati per la digestione dei lipidi.
B. cellule prive di cromatina.
C. plastidi non fotosintetizzanti.
D. cloroplasti con clorofilla non colorata.
E. nuclei privi di DNA.

6. I cromoplasti sono:

A. plastidi ricchi di pigmento non fotosintetizzante.
B. strutture nucleari formate da cromatina.
C. enzimi proteolitici a base di cromo esavalente.
D. aggregati di clorofilla.
E. cloroplasti fotosintetizzanti tipici dei batteri.

7. La clorofilla è presente solo in alcuni:

A. nuclei.
B. plastidi.
C. vacuoli.
D. centrioli.
E. mitocondri.

8. La formula generica corretta della fotosintesi è:

A. $3\ CO_2 + 4CH_4$ + Luce solare → $C_4H_5O_4 + 4CO_2$
B. $6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + Luce solare → $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$
C. $6\ CO_2 + 6\ O_2$ + Luce solare → $C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O$
D. $C_6H_{12}O_6 + H$ + Luce solare → $6\ CO_2 + COOH$
E. $6\ CO_2 + 6\ O_2$ + Luce solare → $CH_4COOH + 6\ H_2O$

Parte C – Codice genetico, riproduzione ed ereditarietà

Unità 1

Generalità e genetica mendeliana

Se si considera la cellula come il mattone fondamentale della vita, ogni organismo può essere visto come un gigantesco e complesso edificio costruito con miliardi di questi mattoni, ognuno con la propria funzione e in stretta connessione con gli altri. Per fare in modo che la costruzione abbia una sua precisa struttura e non sia un semplice cumulo casuale, ha bisogno di un bravo direttore dei lavori, e questo direttore è il **DNA**.

Il DNA (**acido deossiribonucleico**) dal punto dista chimico è un **acido nucleico**, ovvero una lunga (spesso lunghissima) catena polimerica il cui monomero è il **nucleotide**. Dato che è presente una sezione dedicata alla struttura del DNA, non ci soffermeremo su questo, ma su come esso determini ciò che un organismo è: il suo aspetto, le sue abitudini, le sue capacità innate o le sue possibilità di acquisizione di nuove esperienze. Tutto ciò che un organismo esprime deriva direttamente dalle informazioni racchiuse all'interno del proprio DNA. La scienza che studia tutti i processi legati al patrimonio genetico degli organismi è detta **genetica**.

Le molecole di DNA, che negli eucarioti risiedono prevalentemente nel nucleo cellulare impacchettate in cromatina e cromosomi, sono catene nucleotidiche in genere estremamente lunghe (nell'uomo circa 3,2 miliardi di basi) dato che l'informazione che deve esservi racchiusa è spesso immensa. Basti pensare alla vasta quantità di tessuti, ghiandole, organi, meccanismi fisiologici o altro che compongono ad esempio un vertebrato, per rendersi conto di quante complesse 'direttive' il DNA debba fornire, tutte con assoluta precisione, per far sì che tutto funzioni al meglio. La catena di DNA può essere suddivisa in numerose aree, dette **geni** (singolare **gene**), che sono le unità ereditarie portatrici dell'informazione genetica, essendo coloro che, tramite i processi di **trascrizione** prima e di **sintesi** poi, riescono a trasformare l'informazione codificata del DNA in **proteine**. L'insieme dei geni di un individuo è detto anche **genotipo**, mentre l'intero complesso del materiale genetico di un organismo viene detto **genoma**; l'insieme dei prodotti della trascrizione viene infine detto **proteoma** (da 'proteina', il prodotto della sintesi). Ogni gene può esprimersi in modi diversi e può essere formato da una **sequenza nucleotidica** diversa, proprio a causa della variabilità genetica dovuta in gran parte alla meiosi. Anche in uno stesso organismo **diploide** (ovvero dove ogni cromosoma ha un suo omologo, speso riportato come **corredo cromosomico** $2n$) uno stesso gene può essere identico in entrambi i cromosomi (**omozigosi**, l'organismo viene detto **omozigote** per quel gene) o essere diverso (**eterozigosi** e l'organismo diviene **eterozigote** per quel gene). Le diverse forme con cui si presenta un gene vengono dette **alleli**, mentre la sua posizione fisica nel cromosoma viene detta **locus** (plurale **loci**). Se una persona ha gli occhi azzurri o marroni, se un cane ha il pelo corto o lungo, se una pianta produce un fiore giallo o arancione la responsabilità è sempre di un gene (più spesso di una serie, o **pool**, di geni) che regola quel carattere. Una caratteristica interessante dei geni è che non sono formati soltanto da sequenze codificanti.

Esistono alcune parti, talvolta molto consistenti, che non codificano e che vengono ignorate durante la fase di trascrizione. Le parti del gene codificanti vengono dette **esoni**, mentre le parti che non codificano vengono dette **introni**. Sulla funzione degli introni sono state fatte varie ipotesi, ma questo argomento è tutt'ora materia di dibattito.

La genetica è una scienza vasta, in piena evoluzione e ancora ricca di sfide, anche se la sua nascita è da inquadrarsi intorno alla metà del XIX secolo, quando un monaco, **Gregor Mendel**, insegnante di scienze naturali e di fisica, intuì i principi fondanti della trasmissione dei caratteri ereditari tramite una serie di semplici esperimenti eseguiti su piante di pisello odoroso (*Pisum sativum*), le quali producono fiori, semi e baccelli di forme e colori variabili. Gli esperimenti di Mendel erano basati sulla **fecondazione incrociata** tra piante dotate di caratteristiche diverse (ad esempio il colore del fiore), avendo cura di evitare l'autofecondazione, possibile in molte piante. L'insieme di piante di partenza costituisce la **generazione parentale,** o **generazione P**, mentre le piante figlie nate dai suoi semi costituiscono la **prima generazione filiale** (**F_1**). Dal loro incrocio è possibile ottenere una seconda generazione (**F_2**), da questa una generazione **F_3** e così via. Per ognuna delle generazioni, Mendel registrò le **frequenze** con cui le varie **espressioni fenotipiche** della pianta che aveva preso in considerazione (colore del fiore, forma dei semi, colore del baccello e altre) si manifestavano tra gli individui. Grazie ai risultati ottenuti, egli poté formulare alcune leggi chiave, tutt'oggi alla base dell'analisi genetica, pur non avendo (ovviamente) la minima cognizione di biologia molecolare.

La **prima legge**, detta anche **legge della dominanza**, afferma che per un determinato gene, nella prima generazione filiale (F_1), tutti gli individui, ibridi e non, esprimono solo l'allele dominante. Gli alleli, infatti, possono essere sia **dominanti** che **recessivi**, ovvero possono 'imporre' o meno la propria espressione fenotipica a discapito dell'altro. Il fenotipo recessivo si esprime quindi solo il gene è in omozigosi, cioè quando gli alleli nei due cromosomi sono entrambi recessivi. Ad esempio nel caso dell'unione tra individui omozigoti che possiedono entrambi gli alleli recessivi (aa) e individui omozigoti che possiedono entrambi gli alleli dominanti (AA) per un determinato gene, si otterrà una generazione F_1 nella quale si avranno tutti individui eterozigoti (Aa e aA) che presentano il fenotipo dominante (fig. 1.1a).

In realtà, i cosiddetti alleli a **dominanza incompleta** costituiscono un'eccezione a questa legge; questi sono quegli alleli il cui fenotipo non si esprime completamente. In sostanza il carattere espresso dal gene in eterozigosi non sarà identico a quello espresso in omozigosi, ma presenterà dei caratteri simili al fenotipo dell'allele recessivo (fig. 1.1b).

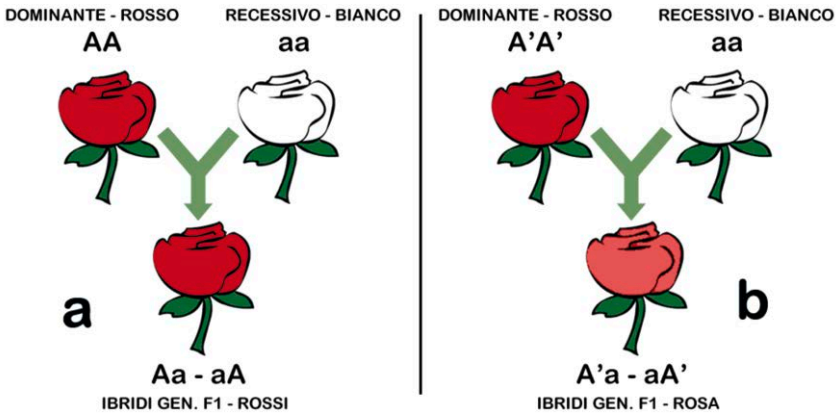

Figura 1.1 Schema della prima legge di Mendel: (a) e un esempio di dominanza incompleta: (b) A, allele dominante; a, allele recessivo; A', allele a dominanza incompleta.

La **seconda legge**, o **principio della segregazione**, afferma che, nell'incrocio tra ibridi di prima generazione, durante la formazione dei gameti gli alleli di un gene **segregano** (ovvero si separano) l'uno dall'altro, per cui solo uno viene trasmesso alla generazione successiva. Quindi se ad esempio incrociamo individui eterozigoti della generazione F_1 (Aa e aA), la generazione F_2 avrà circa 1/4 di individui omozigoti con entrambi gli alleli dominanti (AA), 1/4 di individui omozigoti con entrambi gli alleli recessivi (aa) e 2/4 di individui eterozigoti con entrambi i tipi di alleli (Aa e aA). Dal punto di vista dell'espressione fenotipica, si avrà che circa 3/4 delle piante presenteranno il fenotipo dominante (le omozigoti AA più entrambe le eterozigoti Aa ed aA), mentre solo 1/4 presenterà il fenotipo recessivo (aa) (fig. 1.2).

La **terza legge**, detta anche **principio dell'assortimento indipendente**, dice che i geni che controllano i vari caratteri si distribuiscono in maniera indipendente gli uni dagli altri. Solo molto dopo si è visto che questo dipende dal fatto che ogni gene ha una diversa collocazione all'interno dei cromosomi e che ognuno di essi si comporta in maniera indipendente durante la fase di produzione dei gameti. Se consideriamo ad esempio due geni diversi, in un incrocio tra eterozigoti per entrambi i geni avremo una generazione successiva formata da un rapporto di 9 fenotipi dominanti per tutti e due i caratteri, 6 fenotipi dominanti per uno solo dei due caratteri (3 per ciascuno) e un solo fenotipo recessivo per entrambi i caratteri (fig. 1.3).

Mendel produsse molti documenti, con un impianto sperimentale molto ben fatto e con risultati chiari. Per questo è a tutt'oggi considerato come il padre della genetica, sebbene il suo lavoro venne apprezzato solo molti anni dopo la sua scomparsa.

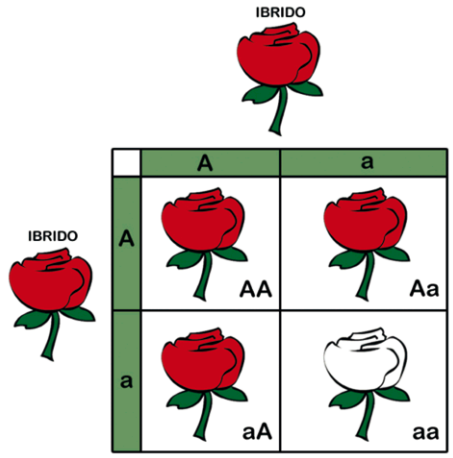

Figura 1.2 Schema esplicativo della seconda legge di Mendel. Questo tipo di rappresentazione viene anche detto 'quadrato di Punnett'.

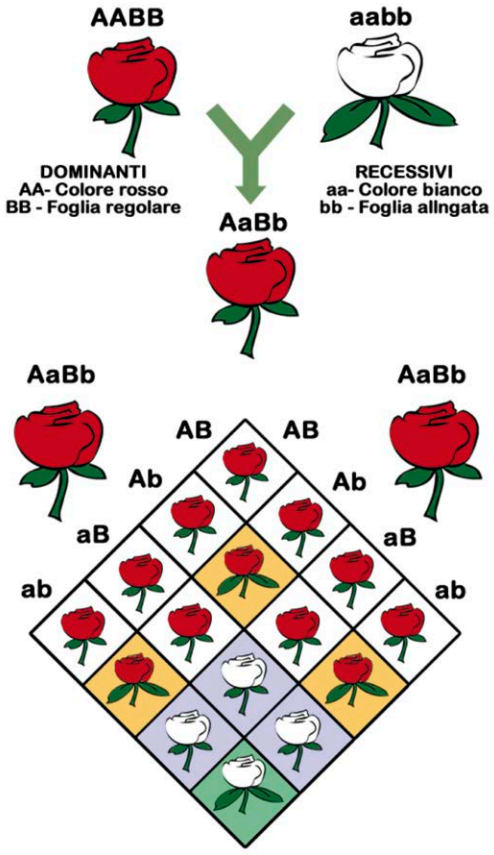

Figura 1.3 Schema rappresentativo della terza legge di Mendel.

Esercizi Unità 1

1. Dal punto di vista chimico, il DNA è:

A. un idrocarburo.
B. una proteina.
C. un lipide.
D. un acido nucleico.
E. uno zucchero.

2. Il DNA, negli eucarioti, normalmente si trova:

A. nella membrana plasmatica.
B. nel nucleo.
C. nel citosol.
D. nei centrioli.
E. nei pori nucleari.

3. L'unità ereditaria del DNA che codifica per una determinata proteina viene detta:

A. gene.
B. istone.
C. introne.
D. mRNA.
E. genoma.

4. Il genotipo è:

A. il complesso di tutte le fasi di trascrizione del DNA.
B. la frequenza di ereditarietà dei geni.
C. la posizione di un gene sul cromosoma.
D. l'insieme di tutti i geni di un DNA.
E. la lunghezza in basi del DNA di un organismo.

5. Il genoma di un individuo è:

A. il complesso di tutto il materiale genetico contenuto nelle cellule.
B. l'insieme di tutti gli esoni di un gene.
C. la parte extranucleare del DNA.
D. l'insieme di tutti i trascritti.
E. il DNA umano.

6. Come vengono dette le diverse varianti di un gene?

A. Introni.
B. Genotipi.
C. Genomi.

D. Esoni.
E. Alleli.

7. Se un organismo diploide per un determinato gene possiede due alleli uguali, per quel gene l'organismo è:

A. omologo.
B. genotipico.
C. equilibrato.
D. aploide.
E. omozigote.

8. Se un organismo diploide per un determinato gene possiede due alleli diversi, per quel gene l'organismo è:

A. contrastante.
B. eterozigote.
C. poliploide.
D. eterologo.
E. genomico.

9. La posizione di un gene su di un cromosoma viene definita:

A. cromatina.
B. cromatidio.
C. allele.
D. locus.
E. genotipo.

10. Gli esoni e gli introni sono rispettivamente:

A. le parti brevi e lunghe di un cromatidio.
B. l'insieme del DNA e dell'RNA di una cellula.
C. le aree più prossimali e più distali di un cromosoma rispetto al centromero.
D. il materiale genetico del nucleo e della matrice extracellulare.
E. le regioni codificanti e non codificanti di un gene.

11. Le tre leggi di Mendel per la trasmissione dei caratteri, vengono dette:

A. legge della dominanza, principio della segregazione e principio dell'assortimento indipendente.
B. legge della prima generazione, principio della frequenza minima e principio della frequenza massima.
C. principio della generazione parentale, legge della separazione e legge della doppia separazione.
D. legge dell'indipendenza delle generazioni, legge della dominanza recessiva e legge della segregazione parentale.
E. legge della dominanza incompleta, principio dei caratteri parentali, principio dell'assortimento dei caratteri recessivi.

12. In un organismo diploide, un fenotipo recessivo per un determinato gene si esprime quando:

A. almeno un allele è recessivo.
B. nessuno dei due alleli è recessivo.
C. un allele è recessivo e l'altro a dominanza incompleta.
D. entrambi gli alleli sono recessivi.
E. mai perché i fenotipi recessivi sono sempre letali.

13. In un organismo diploide, un fenotipo dominante per un determinato gene si esprime quando:

A. non sono presenti alleli recessivi.
B. almeno uno dei due alleli non è dominante.
C. almeno uno dei due alleli è dominante.
D. nessun allele è dominante.
E. nessun allele è a dominanza incompleta.

14. Dall'incrocio tra individui eterozigoti per un gene, tutti aventi un allele dominante e uno recessivo, si otterrà una generazione che presenterà individui con caratteri fenotipici in quale proporzione:

A. 2/3 dominanti, 1/3 recessivi.
B. 1/2 dominanti, 1/2 recessivi.
C. 4/4 dominanti.
D. 3/4 dominanti, 1/4 recessivi.
E. 1/3 dominanti, 1/3 recessivi, 1/3 a dominanza incompleta.

Unità 2

Trascrizione e sintesi proteica

Il **DNA** (**acido deossiribonucleico**), lo sappiamo, è la molecola principale che contiene tutta l'informazione genetica, ma non è il solo acido nucleico presente in una cellula. Il suo 'quasi' omonimo **RNA** (**acido ribonucleico**), ha il fondamentale compito di funzionare come 'portatore dell'informazione' genetica dal DNA al luogo dove questa verrà trasdotta in proteine, ed è in qualche modo implicato in ognuna delle fasi del processo.

Innanzitutto va ricordato che esistono tre tipologie di RNA: l'**RNA messaggero** (**mRNA**), l'**RNA transfer** (**tRNA**) e l'**RNA ribosomiale** (**rRNA**). Quest'ultimo non partecipa attivamente al processo di sintesi proteica, se non per il fatto che è una componente strutturale dei ribosomi, luogo fisico all'interno della cellula sul quale si svolge il processo di sintesi.

Se consideriamo la catena di eventi che portano alla formazione di una nuova proteina, il primo passo è certamente quello di rendere 'disponibile' la molecola di DNA liberandola dagli **istoni** che la condensano nella **cromatina** ed aprendo la **doppia elica**. Infatti, come descritto nella sezione dedicata, il DNA non si trova libero in singole molecole sparse nel nucleo, ma si presenta in forma condensata insieme a delle proteine strutturali (istoni), oltre che nella nota forma di due molecole **complementari** avvolte l'una sull'altra (modello a doppia elica di Watson e Crick). I processi che rendono disponibile la molecola di DNA per la trascrizione sono eseguiti da una serie di proteine, in genere di natura enzimatica (come la **elicasi**, enzima dedicato proprio all'apertura della doppia elica).

Una volta aperta l'elica e resa disponibile la molecola di DNA nel punto del gene da trascrivere, i nuovi nucleotidi si attaccano al filamento tramite legami a idrogeno secondo i propri complementari. Infatti i nucleotidi non possono liberamente creare ponti a idrogeno tra loro casualmente, ma hanno appaiamenti chimicamente obbligati (nello specifico guanina-citosina e adenina-timina, timina sostituita dall'uracile nell'RNA). Tramite enzimi (detti **RNA polimerasi**) che legano i nucleotidi tra loro in maniera covalente, si forma una catena filamentosa di mRNA, che è la copia in 'negativo' (complementare) di quel gene e ne contiene l'intera informazione. Questo processo viene detto **trascrizione** (fig. 2.1). La trascrizione ha una precisa direzione nella quale avviene, ed è quella detta 5'→3' (si legge '5 primo 3 primo'), la stessa che ritroveremo per la duplicazione del DNA. I due numeri derivano dal fatto che i nucleotidi, nella catena del DNA, si legano tra loro con legame fosfodiesterico tramite il terzo e il quinto carbonio del pentosio (rispetto al primo gruppo ossidrilico OH), per cui nei due punti terminali della catena si avrà da una parte un nucleotide senza altri nucleotidi legati sul carbonio 3', mentre dall'altra senza altri nucleotidi sul carbonio 5'. Esiste per cui una **direzione** individuabile della catena, che viene appunto identificata come 5'→3' o viceversa 3'→5'. Questo punto, seppure sembri secondario, è invece molto importante, in quanto gli enzimi che aiutano a sviluppare le catene di acidi nucleici, le polimerasi, funzionano solo se la catena si allunga in direzione 5'→3'. Questo, come vedremo, ha importanti implicazioni per la duplicazione del DNA.

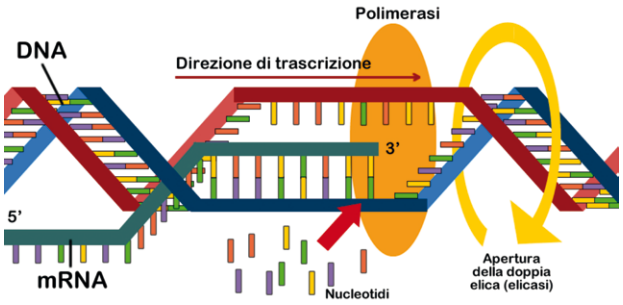

Figura 2.1 Schema del processo di trascrizione del DNA.

Dopo che l'informazione è stata riportata sul mRNA, questo muove verso gli organuli cellulari sede della traduzione del codice in polipeptidi, ovvero i **ribosomi**, i quali sono formati da una serie di proteine e, come già accennato, da un altro tipo di RNA, l'RNA (non a caso) ribosomiale, o rRNA. In questa sede entra in gioco il terzo tipo di RNA, il tRNA, una molecola relativamente corta (in genere rappresentata con una struttura a 'trifoglio') che presenta una regione variabile caratteristica (lunga tre basi) detta **anticodone,** la quale, con l'ausilio delle strutture ribosomiali (i ribosomi sono tipicamente formati da due subunità), si appaia a regioni complementari di mRNA (dette **codoni**, anch'esse lunghe tre basi). L'mRNA, 'scorrendo' sul ribosoma, richiama via via diverse molecole di tRNA con anticodoni complementari; dato che ad ogni tRNA è anche legato uno specifico amminoacido, in particolari **siti** posti in sequenza (detti siti **A**, da amminocidico, **P** da peptidico ed **E** da exit) sul ribosoma si vengono a formare, tra gli amminoacidi trasportati, dei legami peptidici, con conseguente creazione di una catena. Mentre l'mRNA si muove e nuovi tRNA vengono richiamati, la catena polipeptidica si allunga fino a formare la proteina, che risulta quindi diretta espressione del codice genetico dato dal gene stampo di partenza. Tutto questo questa complessa serie di passaggi prende il nome di **sintesi proteica** (fig. 2.2).

Esistono in totale 61 differenti tipi di codoni, i quali però devono codificare per soli 20 amminoacidi. Questo comporta che per lo stesso amminoacido possano esistere codici diversi (soltanto alla Metionina e al Triptofano corrisponde un solo codone, nei codoni degli altri amminoacidi spesso varia solo la terza base). Il codice però non è ambiguo, nel senso che ad un determinato codone corrisponde sempre un unico amminoacido. È invece assai probabile che codici che portano alla sintesi della stessa identica proteina non siano identici dal punto di vista della sequenza di basi. Questa importante caratteristica viene detta **degenerazione** del codice genetico.

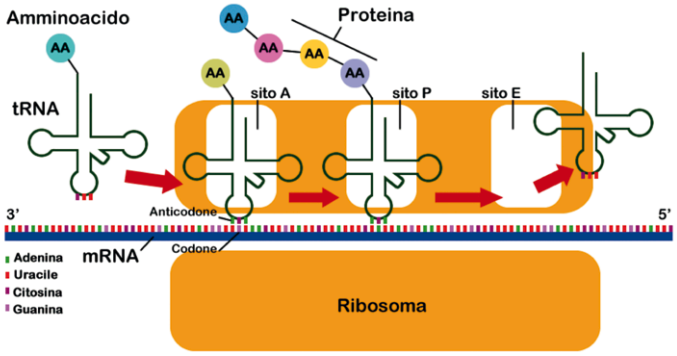

Figura 2.2 Schema della sintesi proteica.

Esercizi Unità 2

1. In linea generale, il primo passo del processo di trascrizione del DNA è:

A. la denaturazione del DNA a RNA.
B. l'appaiamento dell'anticodone del tRNA con il codone dell'mRNA.
C. la compattazione in cromosomi del DNA nucleare.
D. la lisi della membrana nucleare.
E. lo scompattamento del DNA dalla cromatina e l'apertura della doppia elica.

2. Il codice del DNA, durante il processo di trascrizione, su che molecola viene trascritto:

A. tRNA.
B. rRNA.
C. mRNA.
D. hRNA.
E. RNA aspecifico.

3. Come viene normalmente definita la direzione nella quale avviene la trascrizione del DNA?

A. 3' – 5'
B. 4' – 5'
C. 5' – 5'
D. 5' – 3'
E. 2' – 3'

4. In quale struttura cellulare avviene la sintesi proteica?

A. Nucleo.
B. Nucleolo.
C. Mitocondrio.
D. Ribosoma.
E. Apparato del Golgi.

5. Quale ruolo ha il tRNA durante la sintesi proteica?

A. È lo stampo del DNA e trasporta l'informazione genetica.
B. Si lega tramite l'anticodone al codone del mRNA trasportando un amminoacido.
C. Si lega al sito di exit del ribosoma e interrompe il processo di sintesi.
D. È costitutivo, insieme ad una parte proteica, della sub unità minore del ribosoma.
E. Stabilizza, tramite il legame codone-anticodone, la nuova molecola peptidica.

6. Quanti sono i siti della sub unità minore del ribosoma nei quali avvengono le varie fasi della sintesi proteica?

A. 2
B. 3
C. 4
D. 5
E. 6

7. Il tRNA, durante la sintesi proteica, attraversa tre diversi siti del ribosoma. In quale sequenza?

A. A - P - E
B. P - E - A
C. A - E - P
D. E - P - A
E. P - A - E

Unità 3

Replicazione del DNA

Le molecole di DNA, come accennato nella sezione della riproduzione cellulare, hanno la necessità di doversi **replicare**, ovvero deve esistere un sistema per il quale il materiale genetico può creare copie di se stesso. Questo fenomeno ha una fondamentale importanza, dato che pressoché in ogni cellula di un organismo deve essere presente il codice genetico con tutti i geni necessari per la vita della cellula stessa.

In maniera del tutto simile a come avviene per la trascrizione del DNA su RNA messaggero, la molecola di DNA, per replicarsi, deve svolgersi ed aprire la propria struttura a doppia elica e fare in modo di agire come stampo per la nuova catena. Questo in genere avviene grazie ad una serie di enzimi tra i quali l'**elicasi**, che apre la catena in più punti formando diversi 'occhielli' detti **bolle di replicazione**, agli estremi dei quali vi sono le cosiddette **forcelle di replicazione**.

Nel momento in cui la catena di DNA è libera dalla sua complementare, può iniziare la replicazione (l'unità di DNA che deve essere replicata viene detta **replicone**), che avviene, comè intuitivo, inserendo via via i nuovi nucleotidi lungo la catena in base ai loro rispettivi complementari (A-T e G-C). Come al solito questo processo è guidato da un enzima, la **DNA polimerasi**, la quale aiuta la formazione dei legami fosfodiesterici tra i nuovi nucleotidi e lo sviluppo della nuova molecola di DNA.

La DNA polimerasi, però, non è in grado di creare la nuova catena di DNA inserendo direttamente i nuovi nucleotidi sullo stampo, ma necessita della presenza di una sequenza iniziale di basi, in genere piuttosto breve, alla quale aggiungerli. Questa viene detta **primer**, ed è una breve sequenza specifica di basi (generalmente di RNA) che si lega nella regione dalla quale la replicazione deve iniziare, agendo da 'innesco' per la DNA polimerasi che può così iniziare ad aggiungere le nuove basi.

La polimerasi, però, può procedere solo in una precisa direzione. Come specificato per la trascrizione, infatti, esiste una direzione per ognuna delle due catene complementari di DNA (comunemente anche dette **filamenti**), che è quella data dalle due terminazioni. Per cui vi sono due direzioni possibili: 5'→3' e 3'→5', in base al fatto che la sequenza venga letta dalla terminazione 5' alla 3' e viceversa. Questo elemento è particolarmente importante perché la polimerasi riesce ad aggiungere nuove basi **soltanto** sulla posizione 3' del pentosio delle basi precedenti (ricordiamo infatti che i nucleotidi sono legati tra loro tramite la posizione 3' da una parte e 5' dall'altra del pentosio); questo di fatto comporta che la catena si allunghi **obbligatoriamente** in una sola direzione, ovvero 5'→3', che corrisponde alla direzione inversa sul filamento stampo (3'→5'). E quindi? Si duplica solo uno dei due filamenti complementari? Ovviamente no, esiste un sistema complesso che risolve questo problema. In breve, ciò che accade è che sul filamento 5'→3' (direzione 3'→5' del filamento figlio) la replicazione avviene 'a pezzi', cioè formando piccoli frammenti (chiamati **fram-**

menti di Okazaki) che si allungano comunque in direzione 5'→3', però partendo dalla forcella di replicazione ed arrivando all'inizio del precedente frammento; successivamente, questi vari frammenti si legano tra loro fino a formare il nuovo filamento completo. Chiaramente questo processo necessita di tempi più lunghi rispetto all'allungamento diretto della catena, per cui i due filamenti figli vengono comunemente distinti in **filamento veloce** (quello in cui avviene l'allungamento in direzione 3'→5' del filamento stampo) e **filamento lento** (5'→3' del filamento stampo) (fig. 3.1).

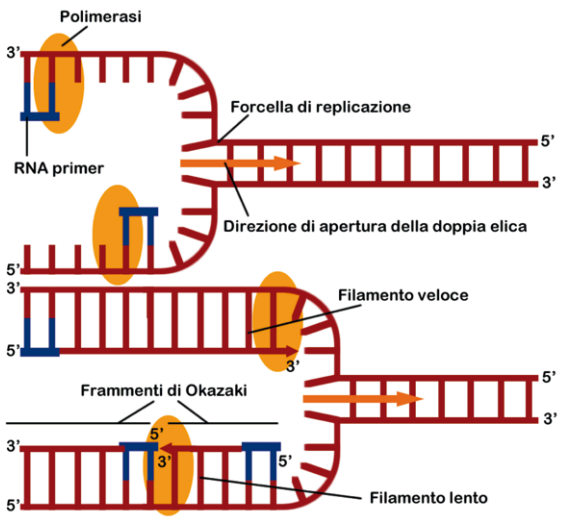

Figura 3.1 Schema del processo di replicazione del DNA.

Al momento in cui i filamenti figli provenienti da diverse bolle di replicazione (detti **frammenti precursori**) vengono a contatto, per formare un'unica catena di DNA e completare il processo di replicazione entra in gioco un altro enzima, la **DNA polimerasi I** (o **Pol I**), il quale elimina i primer di RNA e lega assieme i filamenti.

Esercizi Unità 3

1. Le cosiddette forcelle (o forche) di replicazione, sono:

A. le invaginazioni della membrana plasmatica durante la mitosi.
B. le prime fasi della copiatura del codice del DNA sul mRNA.
C. le modificazioni del mRNA durante il passaggio sui ribosomi.
D. i punti di divisione della doppia elica di DNA durante la replicazione.
E. gli errori di inserimento delle nuove basi durante la trascrizione.

2. La polimerasi è:

A. un enzima proteolitico.
B. un coenzima per la denaturazione degli acidi grassi.
C. l'enzima che apre la doppia elica di DNA durante la replicazione.
D. l'enzima che lega i diversi nucleotidi di una catena.
E. un enzima patogeno.

3. In genetica, per primer si intende:

A. una sequenza di DNA contenente geni sessuali.
B. l'unità ereditaria del genoma.
C. l'insieme di tutti gli RNA di una cellula.
D. una sequenza non codificante di un gene.
E. una breve sequenza di basi che innesca replicazione del DNA.

4. Durante la replicazione del DNA, la polimerasi può procedere sono in una precisa direzione del filamento, detta:

A. 5'→3'
B. 5'→5'
C. 3'→2'
D. 3'→5'
E. 2'→3'

5. I cosiddetti 'frammenti di Okazaki' sono:

A. frammenti che si formano nella cellula a seguito della demolizione del fuso mitotico.
B. frammenti di RNA che funzionano da innesco per la replicazione del DNA.
C. frammenti di DNA che formano il filamento lento durante la replicazione del DNA.
D. frammenti di cromosomi che ricombinano durante la meiosi.
E. frammenti di genoma esterni al nucleo.

6. Durante la replicazione del DNA, su quale filamento stampo si allunga il filamento lento (direzione)?

A. 3'→3'
B. 2'→3'
C. 5'→6'
D. 5'→3'
E. 5'→5'

Unità 4

La riproduzione degli organismi: gli animali

Esistono due tipologie principali di riproduzione negli animali (intendendo, anche se impropriamente, regno animale e batteri), quella detta **asessuata** (o **asessuale**, detta anche **agamica** o **vegetativa**) e quella **sessuata** (o **sessuale**, detta anche **gamica** o **anfigonica**).

La prima è tipica di quali i **procarioti** (batteri) o alcuni **protisti** (organismi semplici, in genere unicellulari, di varia natura). Questa può avvenire in più maniere, come ad esempio una semplice **scissione mitotica** in due nuovi individui (come in alcuni protisti, ad esempio i flagellati) o la cosiddetta **schizogonia**, che permette una separazione multipla dell'individuo madre fino a formare numerosi individui figli (questa tipologia è tipica ad esempio dei protisti sporozoi). Una ulteriore modalità consiste nella **gemmazione**, un sistema attraverso il quale l'individuo figlio si accresce parzialmente sul corpo dell'individuo madre per poi staccarsene e maturare tramite una serie successiva di mitosi (avviene ad esempio nelle *idre*, organismi marini parenti delle meduse). L'aspetto fondamentale è che questo tipo di riproduzione comporta che tutti gli individui figli sono, dal punto di vista **genetico, identici al genitore**, a meno di eventuali mutazioni.

La riproduzione sessuata, invece, comporta che le generazioni successive abbiano un patrimonio genetico sostanzialmente piuttosto diverso rispetto a quello dei genitori. Questo avviene non solo per i fenomeni di scambio di materiale genetico tra cromosomi durante la fase di formazione dei **gameti** in ognuno dei genitori (il fenomeno di *crossing-over* durante la meiosi), ma anche per il fatto che il patrimonio genetico dell'individuo figlio (o individui figli) sarà la somma dei due patrimoni genetici dei gameti dei genitori. La riproduzione sessuata prevede infatti che esistano individui che possiedono gameti maschili e femminili, nella maggior parte dei casi ognuno di questi è esclusivo di un genere (maschi, femmine), ma esistono numerosi casi di specie **ermafrodite**, ovvero che possiedono entrambe le tipologie di gameti e di organi sessuali (un esempio tipico sono le lumache). Gli individui con gameti maschili e quelli con gameti femminili si uniscono tramite l'**accoppiamento**, un processo che varia molto tra i vari organismi ma che ha l'obiettivo di fare in modo che le due tipologie di gameti vengano a contatto. Sono presenti in genere strutture anatomiche dedicate alla riproduzione dette appunto **organi sessuali**, che aiutano sia l'emissione dei gameti maschili che il raggiungimento dei gameti femminili. Nei vertebrati e in molti altri organismi ciò avviene **internamente** all'individuo femmina, ma esistono molti casi, come in alcuni pesci e anfibi, nei quali la fecondazione avviene **esternamente**, ovvero la femmina depone le uova e il maschio successivamente le feconda irrorandole col proprio seme.

Una volta che i due gameti si uniscono, inizia la formazione del nuovo individuo. L'unione dei due gameti aploidi dà origine allo **zigote**, una cellula che possiede tutto il patrimonio genetico proveniente dai genitori (quindi **doppio** rispetto ai gameti, diploide), la quale inizierà una serie di processi di divisione che porteranno alla formazione dell'individuo autonomo. Questo avviene

attraverso una serie di eventi (estremamente variabili tra organismi diversi) detti **stadi embrionali**, che comprendono tutti i momenti successivi alla prima divisione cellulare dello zigote fino al completamento dell'individuo. Prendendo il caso dei vertebrati, tutti questi stadi avvengono all'interno di strutture protette; nei rettili nei pesci e negli anfibi queste sono le **uova**, mentre nei mammiferi la protezione è data dall'intero individuo femminile. Un individuo in accrescimento necessita di molte sostanze nutritive, le quali devono necessariamente essere fornite dall'esterno o essere facilmente disponibili, in quanto un embrione non può (ovviamente) procurarsi il cibo in maniera autonoma. Nei mammiferi la madre trasferisce i nutrienti al feto tramite un organo temporaneo, la **placenta**, che insieme ad altre strutture annesse (come il **funicolo**, o **cordone, ombelicale**) regola il flusso delle sostanze necessarie all'accrescimento. Al contrario, nelle uova l'embrione utilizza le sostanze già presenti in quello che comunemente viene chiamato **tuorlo**, detto anche **vitello** o **deutoplasma**. Comunemente, gli organismi (come i mammiferi) che producono prole già sviluppata vengono detti **vivipari**, mentre quelli che depongono uova vengono detti **ovipari**. Una terza possibilità è costituita da quegli organismi, come ad esempio alcuni squali e serpenti, che producono uova ma la cui schiusa avviene all'interno del corpo della madre e vengono definiti **ovovivipari**.

Le primissime fasi embrionali sono molto simili in gran parte degli animali (ovviamente metazoi, pluricellulari) e prevedono la formazione di una prima struttura detta **morula** costituita da una o poche cellule derivate dalla divisione dello zigote. Continuando le divisioni, la struttura tende ad acquisire una forma sferoidale e prende il nome di **blastula**. Già in questa fase le cellule iniziano a differenziarsi, formando degli strati con caratteristiche diverse tra la parte più esterna e quella interna. La fase successiva è detta **gastrula**, dove si assiste ad una **invaginazione** della parte esterna della blastula che porta alla formazione di una sorta di 'pallina cava' con un'apertura verso l'esterno (detta **blastoporo**). Si formano contestualmente tre diversi tessuti, detti **ectoderma**, **mesoderma** ed **endoderma**, oltre alla parte interna alla gastrula detta **archenteron** (fig. 4.1). Questa suddivisione così precoce ha una importanza straordinaria, in quanto ognuno di questi tessuti contribuirà in maniera diversa alla formazione, nell'individuo completo, di tutte le strutture necessarie (organi, nervi, ossa ecc.). Ad esempio, dall'ectoderma si formeranno i tessuti epiteliali ed il sistema nervoso, dal mesoderma i muscoli, le cartilagini e i tessuti connettivi e dall'endoderma l'apparato digerente e respiratorio.

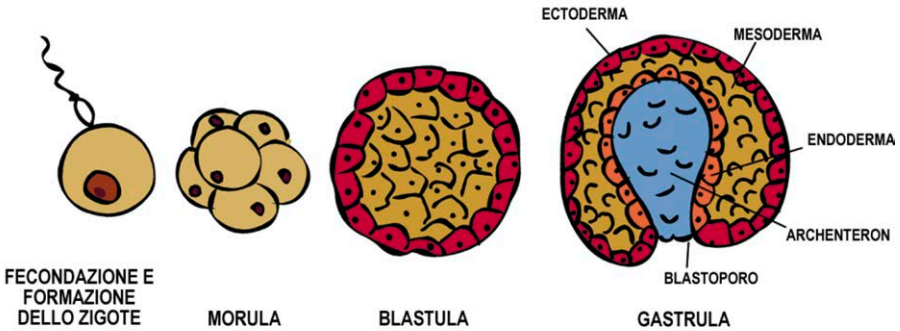

Figura 4.1 Schema degli stadi embrionali nei metazoi.

Esercizi Unità 4

1. Quali di questi sono dei sinonimi di riproduzione sessuata e asessuata?

A. Interna ed esterna.
B. Ectodermica ed endodermica.
C. Gamica e agamica.
D. Spermatica e aspermatica.
E. Vivipara e ovipara.

2. Quali di questi è un sistema di riproduzione animale?

A. Dilungamento.
B. Invaginazione.
C. Septazione.
D. Gemmazione.
E. Incistamento.

3. Dal punto di vista genetico, la riproduzione sessuata rispetto a quella asessuata cosa comporta:

A. maggiore efficacia nella sintesi proteica.
B. incremento dei cromosomi.
C. minori mutazioni.
D. maggiore variabilità.
E. maggiori mutazioni.

4. Il patrimonio genetico dei figli, in una riproduzione asessuata, rispetto al genitore è:

A. identico a meno di mutazioni.
B. sempre diverso a causa delle alte probabilità di mutazione.
C. doppio.
D. la metà.
E. privo di RNA.

5. Una specie viene definita ermafrodita quando:

A. non si accoppia.
B. si accoppia solo durante la fase di produzione gametica.
C. possiede entrambi gli organi sessuali.
D. non è prevista una maturità sessuale.
E. i gameti possiedono lo stesso patrimonio genetico.

6. Lo zigote è:

A. il gamete femminile.
B. la cellula ottenuta dall'unione dei due gameti.
C. l'ultimo stadio embrionale prima dello sviluppo del feto.
D. la cellula prima di iniziare il processo di meiosi.
E. la cellula uovo non fecondata.

7. Come vengono dette le specie che producono uova la cui schiusa avviene all'interno della madre?

A. Ovipare.
B. Vivipare.
C. Ovovivipare.
D. Viviovipare.
E. Vipare.

8. Quale è il corretto ordine temporale dei primi stadi embrionali in un metazoo?

A. Blastula, gastrula, zigote, morula.
B. Morula, zigote, gastrula, blastula.
C. Gastrula, blastula, morula, zigote.
D. Morula, gastrula, zigote, blastula.
E. Zigote, morula, blastula, gastrula.

9. Durante le fasi di sviluppo embrionale si sviluppa l'archenteron, che è:

A. la parte interna della gastrula.
B. un tessuto di riserva per il feto.
C. una particolare cellula della morula.
D. un'apertura nella blastula.
E. il primo stadio embrionale dopo la gastrulazione.

Unità 5

La riproduzione degli organismi: le piante

Mentre negli animali la riproduzione comporta la formazione più o meno diretta di un nuovo individuo, nelle piante l'unione dei gameti ha l'obiettivo primario di dare origine al **seme** (fig. 5.1). Il seme è per le piante qualcosa di simile a ciò che è un uovo fecondato per gli animali, ma con delle caratteristiche che lo differenziano in maniera sostanziale. Il seme è una struttura in genere costruita per resistere a lungo agli agenti esterni, pertanto presenta degli involucri protettivi molto resistenti, detti **tegumenti,** che racchiudono la parte interna formata dalla nuova piantina, l'**embrione**, e da una parte consistente ricca di sostanze nutritive, detta **endosperma**. Il seme ha forme e dimensioni veramente molto variabili tra le varie specie e spesso possiede strutture accessorie che gli permettono di essere trasportato il più possibile dalla pianta madre, sfruttando i vettori più diversi. Un esempio è rappresentato dalle strutture alari tipiche di olmi e aceri, che permettono al seme di sfruttare la forza del vento per allontanarsi (questo tipo di seme prende il nome di samara). I tessuti contenuti all'interno del seme, embrione compreso, si trovano in uno stato di **quiescenza**, ovvero di inattività metabolica. Questa caratteristica contribuisce, insieme alla presenza dei tegumenti, a conferire ai semi una straordinaria resistenza nel corso tempo. Questo stato è principalmente indotto dall'**assenza di acqua,** ed è per questo che, una volta che il seme viene bagnato e l'acqua penetra al suo interno, i processi metabolici vengono innescati e la pianta può continuare il suo accrescimento, utilizzando come prime fonti di nutrimento le riserve presenti nell'endosperma.

Nell'embrione sono presenti delle strutture dette **cotiledoni**, che sono come minuscole foglie modificate per funzionare esse stesse come fonte di riserva; il diverso numero di queste strutture viene utilizzato per raggruppare tassonomicamente le piante. Si chiamano infatti **monocotiledoni** (recentemente rinominate *Liliopsida*) le piante che presentano un solo cotiledone nel seme (un esempio sono le orchidee), **dicotiledoni** (recentemente rinominate *Magnoliopsida*) le piante che ne hanno due (ad esempio le magnolie) e genericamente **policotiledoni** tutte le altre, come le gimnosperme (pini, abeti, cedri ecc.) che possono arrivare ad avere fino a 18-20 cotiledoni.

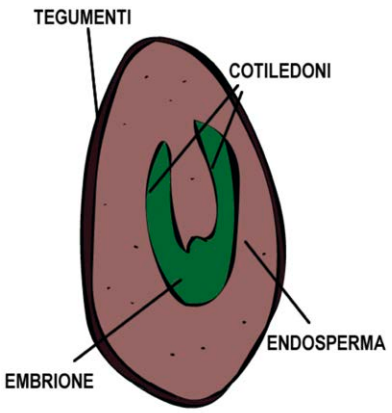

Figura 5.1 Schema generale del seme di una pianta dicotiledone.

Il seme è dunque la conseguenza dell'unione dei gameti maschili e femminili vegetali. Ma come avviene? Anche in questo caso, considerato che

sono circa 350.000 le specie di piante ad oggi descritte (e moltissime probabilmente sono ancora da descrivere), la variabilità è decisamente alta. In linea generale, si ha un gamete maschile contenuto nel cosiddetto **granulo pollinico** (o **gametofito maschile**, più comunemente detto **polline** nel suo insieme), una struttura di piccolissime dimensioni, leggera e facilmente trasportabile. Il gamete femminile è invece contenuto in una sorta di abbozzo primitivo di seme detto **ovulo**, una struttura un po' più complessa rispetto al polline e formata da un involucro tegumentario esterno, una massa di cellule detta **nocella** ed una parte, detta **sacco embrionale** (o **gametofito femminile**), contenente la vera e propria cellula uovo.

Ognuna di queste due strutture riproduttive viene ovviamente generata in altrettanti organi dedicati. Nelle angiosperme, tutti questi organi sono compresi nel **fiore**. Uno schema generico di un fiore comprende le strutture che generano i pollini, detti **stami** (suddivisi in **filamenti**, di supporto, e **antere**, dove maturano i granuli) e le strutture contenti l'ovulo (o gli ovuli), detto **gineceo** (fino a qualche tempo fa comunemente chiamato **pistillo**).

Durante la fecondazione, il granulo pollinico si adagia al di sopra di un'apertura apicale del gineceo detta **stigma** (o **stimma**), dalla quale inizia a formarsi una lunga estroflessione, detta **tubetto pollinico**, che scende all'interno del gineceo prima per un tratto tubiforme detto **stilo** fino poi a raggiungere l'**ovario**, la camera contenente gli ovuli, unendosi infine all'ovulo (fig. 5.2).

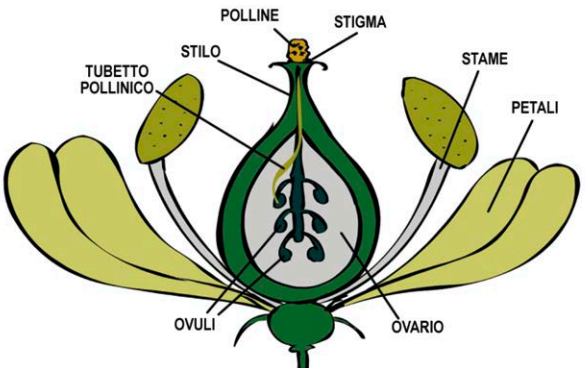

Figura 5.2 Schema generale del fiore di una angiosperma.

Tramite il tubetto pollinico, il polline scarica due nuclei (aploidi) all'interno del sacco embrionale dell'ovulo, dei quali uno andrà ad unirsi al nucleo della cellula uovo dando origine all'embrione (diploide), mentre l'altro andrà ad unirsi ad un nucleo non gametico presente nell'ovulo, dando origine poi all'endosperma del seme (triploide). Nelle gimnosperme il processo è un po' diverso, anche se la fecondazione in sé è simile. I cosiddetti **coni** delle conifere non sono altro che strutture produttrici di gameti prima e di semi (nel caso degli individui femminili) poi. Ma come arrivano i pollini sugli stigmi? Anche in questo caso il processo varia molto da pianta a pianta. Il polline, come detto, è generalmente molto leggero e può, in certi casi, utilizzare semplicemente il vento per disperdersi e andare a fecondare altri individui (anche se non è rarissima nelle piante l'autofecondazione). In molti casi, però, questo trasposto deve essere mediato da qualcosa; uno degli esempi certamente più conosciuti è quello dell'impollinazione dei fiori da parte di insetti come le api. Questi vengono attratti dai fiori sia per il polline stesso, che raccolgono per la colonia e utilizzano come fonte di cibo, sia dai cosiddetti nettari fiorali, sostanze zuccherine prodotte dalla pianta. Facendo così, molti granuli di polline restano attaccati al corpo dell'ape, oltre che nelle sacche presenti sulle zampe adibite al trasporto dei pollini, e al momento in cui l'ape si poserà sul fiore suc-

cessivo, il polline potrà depositarsi sullo stigma. Molte strutture del fiore, a partire dai colori dei **petali**, si sono evoluti per funzionare come segnali attrattivi per gli insetti impollinatori. La relazione che si instaura tra piante ed insetti impollinatori è un tipico esempio di **mutualismo**, ovvero una relazione nella quale due organismi, anche molto diversi tra loro (nel caso di piante ed insetti addirittura appartenenti a regni differenti), traggono un reciproco vantaggio dalla interazione.

Esercizi Unità 5

1. Qual è la funzione dell'endosperma in un seme generico di una pianta?

A. Facilita la dispersione del seme.
B. Protezione dagli agenti esterni.
C. È la parte germogliante.
D. Produrre le radici.
E. Materiale di riserva per l'embrione.

2. I cotiledoni, in un seme, sono:

A. le prime foglie dell'embrione.
B. le strutture di protezione della plantula.
C. i tessuti da cui si svilupperanno i fiori.
D. le aree di maggior quiescenza.
E. i tegumenti più interni.

3. In botanica, cosa viene detto 'granulo pollinico'?

A. Il gametofito femminile.
B. Lo zigote delle gimnosperme.
C. Il seme delle monocotiledoni.
D. Il dotto per la fecondazione degli ovuli.
E. Il gametofito maschile.

4. In un generico fiore di una angiosperma, in quali strutture vengono prodotti i pollini?

A. Ginecei.
B. Petali.
C. Ovari.
D. Stigmi.
E. Stami.

5. Il 'tubetto pollinico' è:

A. la parte di sostegno degli stami.
B. l'insieme dei pollini maturati sull'antera.
C. la struttura che unisce polline e ovulo durante la fecondazione.
D. la prima parte del dotto del gineceo che porta agli ovari.
E. il sistema di emissione dei pollini dagli stami.

6. Quale è la principale funzione della colorazione vistosa dei petali dei fiori?

A. Ridurre l'irraggiamento solare.
B. Fare da deterrente per gli erbivori.
C. Migliorare la funzionalità della fotosintesi.
D. Attrarre gli insetti impollinatori.
E. I pigmenti colorati sono un'importante fonte di riserva per le strutture riproduttive.

Parte D – Principi di classificazione e filogenesi degli organismi viventi e basi dell’evoluzione

Unità 1

Storia e principi del concetto di evoluzione: da Lamarck al Neodarwinismo

Oggi sentire parlare di evoluzione è estremamente comune, molti ne conoscono il meccanismo generale o quantomeno il senso. Ma quello dell'evoluzione degli organismi viventi è di fatto una acquisizione piuttosto recente. Fino a tutto il 1700 e buona parte del 1800, nonostante i notevoli progressi compiuti dalle scienze naturali grazie agli studi di alcuni grandi naturalisti come **Carl Nilsson Linnaeus** (in italiano Carlo Linneo) al quale si deve la moderna metodologia di classificazione delle specie viventi, il mondo biologico era ancora considerato statico ed immutabile nel corso del tempo. Linneo stesso, al pari di molti altri studiosi del XVIII secolo, era un fervido sostenitore dell'allora unica teoria che spiegasse la diversità di organismi sulla terra, il **fissismo**, teorizzato per primo addirittura da Aristotele intorno al terzo secolo a.C. Secondo la visione fissista ogni organismo ha un posto ben preciso all'interno di una scala gerarchica, alla cui vetta si trova l'uomo, e tutte le forme di vita (di origine divina) sono statiche e immutabili nel tempo. Verso gli inizi del 1800 si affacciarono le prime teorie sulla variabilità delle forme viventi e dell'**ereditarietà** di alcuni caratteri. **Jean-Baptiste de Lamarck**, biologo e naturalista francese, nella sua opera intitolata *Philosophie zoologique* del 1809, formulò un'ipotesi allora rivoluzionaria; egli affermava che i caratteri che facilitano la sopravvivenza di un individuo in un determinato ambiente e che vengono utilizzati con maggior frequenza si rinforzano e si migliorano, per poi essere trasmessi alla progenie già nella loro forma 'migliorata'. Un esempio conosciuto spesso citato è quello del collo lungo delle giraffe, che secondo Lamarck era il frutto dello sforzo effettuato dagli individui per raggiungere le foglie più alte degli alberi, carattere poi trasmesso nelle generazioni successive in maniera sempre più pronunciata. Questa teoria, che oggi può sembrare ingenua, introduceva comunque l'idea che le popolazioni di organismi viventi, le varie **specie**, non fossero immutabili, ma variassero nel corso tempo. Un altro studioso, contemporaneo di Lamarck e considerato da molti il padre della moderna paleontologia, **Georges Couvier**, affermò invece che molti dei processi che modificano le comunità di organismi durante la storia della terra sono dovute a grandi catastrofi naturali, le quali estinguono molte forme di vita facendone proliferare altre. Questa teoria, detta **catastrofista**, anch'essa in gran parte riferita al fissismo data la mancanza dell'idea di variazione graduale delle forme viventi, era figlia degli studi di Couvier di anatomia comparata (che analizza le relazioni tra le parti strutturali di organismi differenti) e di paleontologia (scienza che studia, tramite i fossili, le forme vissute in tempi passati).

Influenzato da queste teorie fu anche un naturalista e biologo inglese, **Charles Robert Darwin**, il quale una volta compiuti i suoi studi e i primi lavori naturalistici, all'età di 22 anni fu scelto come naturalista di bordo sul brigantino *Beagle*, il cui scopo era di circumnavigare il globo terrestre per compiere una serie di rilievi per il governo britannico. Durante il lungo viaggio intorno al mondo, Darwin raccolse una mole enorme di dati sulle popolazioni e sulle comunità biologiche incontrate;

in particolare fu colpito dalla fauna presente nelle isole Galapagos, un piccolo arcipelago nell'oceano Pacifico a largo dell'Ecuador. Darwin notò come alcune popolazioni di specie affini presentassero caratteri molto variabili tra isole diverse, in base alle caratteristiche ambientali (sono famosi i fringuelli di Darwin). Grazie anche ai dati raccolti durante questa spedizione, Darwin formulò quella che ancora oggi è la base teorica del principio di **evoluzione** delle specie, nel suo famoso trattato *L'origine delle specie*, pubblicato nel 1859 e divenuto uno dei libri scientifici più importanti della storia (fig. 1.1).

Darwin affermava che le modificazioni che avvengono nella struttura di un organismo non sono, come invece affermava Lamarck, originate dall'individuo grazie al maggiore o minore utilizzo, ma hanno origine nella variabilità **casuale** presente all'interno della popolazione. Al variare delle condizioni ambientali, ad esempio a seguito di variazioni climatiche, vengono **selezionati**, qualora vi siano, quei caratteri (**fenotipi**) che aumentano la probabilità di sopravvivenza (e quindi di riproduzione) degli individui che li portano. Questo permette a questi caratteri, detti **adattativi**, di essere trasmessi con maggiore frequenza e di manifestarsi in maniera sempre più pronunciata col susseguirsi delle generazioni. Questo processo venne definito da Darwin **Selezione Naturale**.

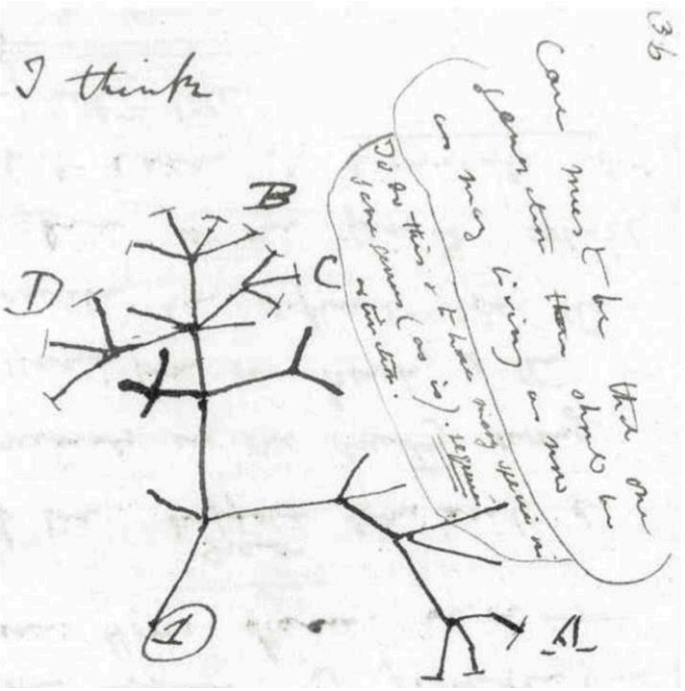

Figura 1.1 Nota rappresentazione disegnata da Darwin dell'evoluzione vista come un albero, dove il primo tratto è l'antenato comune e le ramificazioni le specie evolutesi.

Oggi conosciamo anche molti dei dettagli dei meccanismi molecolari che sono alla base della variabilità delle popolazioni (mutazioni genetiche, riproduzione gametica, meiosi ecc.), ma per quelle che erano le conoscenze del periodo l'intuizione di Darwin fu straordinaria. Rispetto a tutte le possibili teorie formulate precedentemente, nella selezione naturale non esiste un **fine**, ma solo un fenomeno casuale che agisce in maniera del tutto involontaria nel momento in cui le condizioni ambientali, ad esempio in termini di risorse energetiche, di clima, di competizione con altre specie, variano; e questo, in un pianeta 'vivo' come la terra, avviene pressoché di continuo. Certamente non tutte le variazioni ambientali comportano una selezione, spesso sono sufficienti le

armi a disposizione delle varie specie per resistervi; i cambiamenti che comportano una selezione naturale dei caratteri vengono definiti **spinte** o **pressioni evolutive**.

Nel tempo la teoria della selezione naturale è stata oggetto di analisi e di valutazione, ma non è mai stata confutata e anzi, ogni scoperta scientifica degli ultimi 150 anni in campo biologico non ha fatto che rafforzarla. **Stephen Jay Gould**, importante biologo evoluzionista, nel 1971 propose una teoria che dava una variante significativa del fenomeno evolutivo, grazie anche ad alcuni studi effettuati su numerosi reperti fossili. Egli aveva notato che vi erano lunghi periodi di stabilità fenotipica delle specie e che le variazioni avvenivano in tempi relativamente molto brevi (decine di migliaia di anni), probabilmente a seguito di una serie di fattori particolarmente intensi come catastrofi naturali o la segregazione geografica improvvisa delle popolazioni. Questi fattori comporterebbero una spinta evolutiva non graduale, come invece teorizzato da Darwin, ma a '**salti**', con periodi molto lunghi nei quali le specie resterebbero sostanzialmente immutate e, nel caso in cui abbiano le potenzialità genetiche per modificarsi, la **speciazione** avverrebbe in tempi geologicamente molto ridotti (teoria definita **degli equilibri punteggiati**).

Oggi, unendo alla teoria Darwinista le attuali conoscenze in campo della genetica, delle dinamiche ecologiche e della paleobiologia, si parla di **Neodarwinismo**. Si tratta in sostanza dello stesso concetto espresso da Darwin, ma integrato con ciò che adesso sappiamo su molti aspetti che nel XIX secolo erano soltanto ipotizzabili e non conosciuti, come l'esistenza della variabilità genetica e le dinamiche complesse delle popolazioni naturali.

Esercizi Unità 1

1. In breve, cosa affermava la teoria evoluzionistica di Jean-Baptiste de Lamarck?

A. Le specie evolvono solo grazie all'intervento divino.
B. L'evoluzione è un processo determinato dall'uomo.
C. I caratteri acquisiti durante la vita non vengono persi alla morte dell'individuo.
D. I caratteri modificati in base al diverso utilizzo vengono trasmessi alla prole.
E. Gli animali si evolvono più lentamente delle piante.

2. Qual è l'arcipelago ritenuto fondamentale per la formulazione della teoria evolutiva di Darwin?

A. L'Indonesia.
B. Le Eolie.
C. Le Canarie.
D. I Caraibi.
E. Le Galapagos.

3. In breve, in che cosa consiste la teoria evolutiva della selezione naturale?

A. I caratteri adattativi vengono selezionati dalle pressioni ambientali e trasmessi alla prole.
B. I caratteri vincenti vengono trasferiti alla prole tramite selezione dei gameti.
C. I caratteri funzionali vengono selezionati dall'individuo e premiati dalla riproduzione.
D. I caratteri sostitutivi si fissano nelle generazioni grazie alla maggiore selezione genetica.
E. I caratteri derivati vengono selezionati durante la fase meiotica e non mutano.

4. Rispetto alla teoria classica della selezione naturale, cosa propone la teoria evolutiva detta 'degli equilibri punteggiati' di Stephen Jay Gould?

A. La speciazione avviene una sola volta per ogni specie.
B. La speciazione di una specie è diretta conseguenza della speciazione di altre.
C. Ogni specie evolve insieme ad una o più specie.
D. La speciazione avviene soltanto se le pressioni sono multiple.
E. La speciazione avviene in tempi relativamente brevi intervallati da periodi di stasi.

Unità 2

Classificazione degli organismi

In linea generale, più o meno tutti sappiamo riconoscere se un organismo è una pianta, un animale o un fungo, e usiamo per ognuno di questi il termine generico appropriato che li identifica. Molto più difficile, almeno per chi non è esperto, riconoscere un coleottero da un emittero o una cucurbitacea da una begoniacea. La **biologia sistematica** è la scienza che si occupa della **classificazione** degli organismi, raggruppandoli o separandoli in base alle somiglianze (o differenze) nelle loro caratteristiche biologiche. La **tassonomia** (da *taxon*, plurale *taxa*, che è il termine latino che identifica un raggruppamento sistematico di organismi), invece, è la disciplina che si occupa formalmente di nominare i gruppi sistematici. L'idea di cercare di classificare e nominare gli organismi in maniera più precisa e univoca rispetto ai comuni nomi volgari, spesso diversi da luogo a luogo, nasce nel medioevo, dai primi naturalisti delle università europee; colui che però ideò un sistema che ancora oggi nei suoi termini generali viene usato fu il già citato naturalista svedese **Carl Nilsson Linnaeus** (o Carlo Linneo in italiano), che nel XVIII secolo provò, in maniera un po' ambiziosa, a classificare e nominare tutti gli organismi conosciuti all'epoca. Linneo introdusse la **nomenclatura binomia**, tutt'oggi in uso, che consiste nel definire una specie in base a due nomi, dei quali il primo viene definito **genere**, mentre il secondo, che deve essere sempre legato ad un genere, identifica la **specie**. Il primo nome, quello del genere, deve essere scritto sempre con la prima lettera maiuscola, mentre il secondo, che identifica la specie, in minuscolo.

Anche se possono sembrare semplici, sia la sistematica che la tassonomia sono discipline piuttosto complesse, che da Linneo in poi hanno conosciuto un notevole sviluppo. In linea generale, le classificazioni sistematiche e tassonomiche degli organismi seguono un ordine di tipo gerarchico, per cui si parte da gruppi più grandi e consistenti, i quali presentano caratteristiche comuni molto generali, fino via via a ridurre i gruppi in base a caratteristiche sempre più precise.

I gruppi più vasti e più in alto della classificazione sistematica sono detti **domini**, e sono due:

- **Eukaryota** (Eucarioti, organismi che presentano cellule di tipo eucariote);
- **Prokaryota** (Procarioti, organismi unicellulari che presentano cellule di tipo procariote).

Ognuno di questi due domini è suddiviso in **regni**, che sono 5 per gli eucarioti e 2 per i procarioti.

I due regni dei Procarioti sono:

- **Bacteria**, i batteri;
- **Archaea**, o archei, organismi simili ai batteri.

I regni nei quali sono suddivisi gli Eucarioti sono invece 5:

- **Animalia**, gli animali;
- **Plantae,** le piante;
- **Fungi**, i funghi;

- **Protista**, organismi unicellulari o pluricellulari non specializzati;
- **Chromista**, gruppo eterogeneo di organismi di varia origine.

Come detto, la classificazione sistematica è oggetto di forte dibattito scientifico da sempre, e non tutti i biologi evoluzionisti concordano con quella sopra riportata, soprattutto per quanto riguarda gli organismi biologicamente meno complessi, come cromisti o archei.

Se prendiamo in esame soltanto il regno a cui apparteniamo, quello animale, esistono, sotto al regno, altri sei livelli di classificazione principali, gerarchicamente così disposti:
- Il **Phylum**;
- La **Classe**;
- L'**Ordine**;
- La **Famiglia**;
- Il **Genere**;
- La **Specie**.

In realtà, molto spesso ognuno di questi raggruppamenti presenta delle sottodivisioni (Subphylum, Superclasse, Superfamiglia ecc.), ma in linea generale questi sono i riferimenti principali.

Per fare un esempio, la classificazione sistematica dell'uomo è (tralasciando le classificazioni intermedie):
- Dominio: Eukaryota;
- Regno: Animalia;
- Phylum: Chordata;
- Classe: Mammalia;
- Ordine: Primates;
- Famiglia: Hominidae;
- Genere: *Homo*;
- Specie: *Homo sapiens*.

Nella figura 2.1, si possono vedere le classificazioni sistematiche di due specie molto diverse a confronto, l'uomo e una specie di formica. Come si vede, le categorie più in alto (Dominio e Regno) sono le stesse, ma si diversificano presto, a livello di Phylum. Se avessimo comparato uno scimpanzé e un uomo, la classificazione sarebbe stata identica fino a livello di genere, qui differenziandosi tra *Homo* e *Pan*.

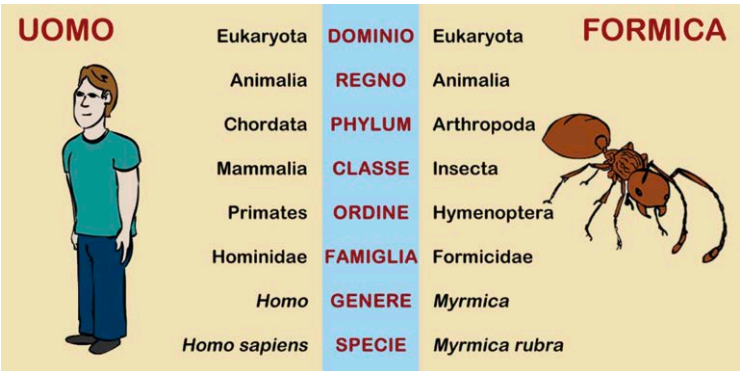

Figura 2.1 Confronto di classificazione sistematica tra l'uomo e una specie di formica.

Esercizi Unità 2

1. Come viene definita la scienza che si occupa di classificare le varie specie di organismi viventi?

A. Metaclassificazione.
B. Statutaria.
C. Bionomastica.
D. Cladotassia.
E. Sistematica.

2. Qual è il livello più alto della classificazione sistematica degli organismi viventi?

A. Regno.
B. Classe.
C. Dominio.
D. Genere.
E. Phylum.

3. Se consideriamo la specie Pan troglodytes, secondo la biologia sistematica Pan è riferito a:

A. la specie.
B. il Dominio.
C. il Genere.
D. la Classe.
E. la Famiglia.

4. Secondo la biologia sistematica, un batterio e un pesce quanti e quali livelli principali condividono?

A. Nessuno.
B. 1, il Dominio.
C. 2, il Dominio e il Regno.
D. 3, il Dominio, il Regno e il Phylum.
E. 4, il Dominio, il Regno, il Phylum e la Classe.

Unità 3

Brevi cenni sui principali *taxa* animali e vegetali

1. Animali – Vertebrati

I vertebrati sono il gruppo animale (dal punto di vista della sistematica un *Subphylum*) di fatto dominante sul pianeta (fig. 3.1). Ne fanno parte i mammiferi, gli uccelli, i rettili, i pesci e gli anfibi; noi stessi, in effetti, in quanto mammiferi, siamo dei vertebrati.

L'antenato comune ai vertebrati era probabilmente un pesce vissuto nel Devoniano (circa 370 milioni di anni fa) che aveva caratteristiche simili ad un moderno **tetrapode** (con quattro arti). La struttura di base (in biologia detta **bauplan**) di un vertebrato è infatti formata da un **endoscheletro**, uno scheletro interno di natura prevalentemente ossea, che si presenta con quattro arti mobili più o meno ancorati ad una **trave vertebrale** centrale, alla quale sono connesse anche le altre strutture principali come il cranio o le pelvi. Si parla genericamente di trave vertebrale e non di colonna, come invece è più di uso comune, perché la colonna è tipica degli organismi bipedi, proprio per la sua posizione più o meno verticale. Nell'uomo, quindi è corretto parlare di colonna vertebrale.

I vertebrati sono come detto un Subphylum, cioè un sottogruppo sistematico al di sotto del phylum *Chordata*, o Cordati, un ampio gruppo che comprende altri organismi che non possiedono propriamente una trave vertebrale ma una struttura che per posizione e utilità ne ricalcano le caratteristiche. Ne sono un esempio gli **anfiossi**, piccoli organismi simili a dei pesci ma senza un vero scheletro e soprattutto senza un cranio.

La riproduzione nei vertebrati è quasi esclusivamente di tipo sessuato, successivamente alla quale la femmina depone un numero variabile di uova. Nei mammiferi si è evoluta una struttura che svincola dalle uova, la **placenta**, un organo membranoso all'interno del quale il feto può accrescersi grazie alle sostanze nutritive ricevute direttamente dalla madre. Guardiamo qualche dettaglio in più sui vari gruppi.

1.1 Mammiferi

I mammiferi, o più propriamente la Classe *Mammalia*, sono il gruppo di vertebrati che comprende anche l'uomo. Le caratteristiche principali sono quelle di possedere dei meccanismi metabolici che garantiscono la temperatura corporea costante (**omeotermia**) e, come detto, generare una prole svincolata dall'uovo che compie le prime fasi di sviluppo all'interno del corpo della madre. Inoltre è molto comune un alto livello di **cure parentali** dei piccoli, ovvero uno o entrambi i genitori accudiscono e difendono la prole, nutrendola direttamente durante le prime fasi attraverso l'**allattamento** materno (alle ghiandole del latte, le **mammelle**, si deve il nome **mammife-**

ri, portatori di mammelle). Sono anche gli unici vertebrati che presentano dei **peli**, strutture di natura proteica che aiutano l'individuo soprattutto a proteggersi dal freddo. Queste tipicità sono state decisamente premianti nella storia evolutiva dal cretaceo ad oggi; la possibilità di restare attivi anche durante situazioni di climi avversi, soprattutto freddi, grazie alla produzione interna del calore necessario a far sì che i processi metabolici avvengano è un vantaggio notevole, soprattutto perché in caso di variazione repentina del clima un organismo omeotermo ha più armi a disposizione per potervi far fronte. Un esempio molto noto è la scomparsa dei dinosauri coincidente circa con l'esplosione demografica dei mammiferi; i primi, seppur recenti studi asseriscano che quantomeno alcuni di loro presentassero una qualche forma di omeotermia, erano grandi rettili ectotermi (ovvero la cui temperatura corporea dipende dalla temperatura esterna), e quindi poco resistenti alle temperature basse. Dopo che, secondo la teoria più accreditata, un enorme meteorite colpì la terra producendo vapori e ceneri in quasi tutto il pianeta oscurando gran parte della luce solare e modificando il clima per lungo tempo, i dinosauri, per la loro dipendenza dal calore atmosferico, non ebbero la possibilità di adattarsi alle nuove condizioni e scomparvero in breve tempo. I mammiferi, invece, grazie anche all'omeotermia, riuscirono a far fronte alle drastiche variazioni ambientali e a sopravvivere. Estintisi i dinosauri, a causa delle molte nicchie ecologiche rimaste libere, le possibilità evolutive divennero enormi per i mammiferi, i quali iniziarono a colonizzare ogni habitat possibile (compresi mari e cieli) fino a raggiungere la grandissima varietà di specie che conosciamo oggi.

1.2 Uccelli

Gli uccelli (Classe *Aves*), come i mammiferi, sono organismi omeotermi, e come i mammiferi hanno avuto una grande esplosione evolutiva in seguito alla scomparsa dei grandi rettili. Per quanto a prima vista non somiglino molto a dei dinosauri, ne sono i discendenti più diretti, anche più dei moderni rettili. Il testimone dell'esistenza di un anello di congiunzione che ha portato alla formazione dei primi uccelli è l'ormai noto *Archeopterix*, una sorta di dinosauro alato, nel quale erano riconoscibili strutture molto simili a piume e penne e che riusciva a compiere brevi voli. Gli attuali uccelli sono composti da moltissime specie e, per quanto la loro natura originale sia quella di essere volatori, ne esistono numerose che si sono adattate per la vita a terra perdendo del tutto la capacità di volare, come gli struzzi, e altre che si sono specializzate per la vita marina, divenendo ottimi nuotatori, come i pinguini.

Anche se le femmine di uccelli producono uova, le cure parentali da parte dei genitori sono negli uccelli come nei mammiferi spesso molto intense.

1.3 Rettili

I rettili (Classe *Reptilia*), sono stati i grandi dominatori della terra per quasi 200 milioni di anni, scomparendo circa 65 milioni di anni fa. I rettili attuali sono i discendenti soltanto di una piccola parte dei giganti di quel tempo, anche se alcuni di loro, come le tartarughe e i coccodrilli, erano già presenti in forme molto simili alle attuali.

I rettili, a differenza di mammiferi e uccelli, sono animali **ectotermi**, ovvero la loro temperatura corporea è in gran parte determinata da fattori esterni. Sono per cui animali in genere legati ad ambienti caldi o temperati, come le foreste tropicali o le aree mediterranee. Alle nostre latitudini esistono numerose specie di rettili (serpenti, lucertole, le stesse tartarughe terrestri), ma le loro attività sono in gran parte stagionali e si riducono drasticamente durante i mesi freddi.

1.4 Anfibi

Anche gli anfibi (Classe *Amphibia*) sono animali ectotermi, come i rettili, ma rispetto a loro sono ancora strettamente legati ad ambienti acquatici. Sebbene abbiano sviluppato dei polmoni, in certi casi piuttosto efficienti come nelle rane (detti anfibi **anuri** per l'assenza di coda e considerabili come gli anfibi più evoluti), necessitano di pozze o specchi d'acqua soprattutto perché le fasi giovanili, i **girini**, molto simili a dei piccoli pesci, sono muniti solo di branchie e completamente privi di polmoni. In altri gruppi come i tritoni (detti anfibi **urodeli**, cioè con la coda), anche gli adulti sono strettamente legati all'acqua, possedendo in molti casi polmoni ridotti e scarsamente efficaci.

1.5 Pesci

Anche i pesci (suddivisi in più Classi, nella sistematica classica riunite nella Superclasse *Pisces*) comprendono una quantità molto ampia di specie, dalle forme e dimensioni delle più svariate. Tra i pesci più primitivi vi sono i cosiddetti pesci cartilaginei (o **condroitti**), soprattutto squali, mante e razze, che presentano uno scheletro non ossificato e quasi completamente formato da cartilagine. I pesci più evoluti sono i pesci ossei (o **osteoitti**), la stragrande maggioranza dei pesci che troviamo nei mari e nei fiumi. Le forme sono veramente molto diverse tra specie e specie; basti pensare ad esempio ad un cavalluccio marino, ad una murena e ad un tonno e a quanto differenti siano le loro caratteristiche morfologiche. La respirazione nei pesci avviene tramite le **branchie**, strutture poste lateralmente alla base della testa che permettono di estrarre l'ossigeno disciolto nell'acqua grazie ad un tessuto altamente vascolarizzato sul quale viene fatto passare un flusso continuo di acqua.

2. Animali – Invertebrati

Gli invertebrati sono genericamente tutti gli organismi animali che non rientrano nella categoria dei vertebrati. I gruppi di invertebrati sono moltissimi, di seguito le caratteristiche generali dei gruppi più importanti (fig. 3.1).

2.1 Artropodi

Gli artropodi (Phylum *Arthropoda*) sono uno dei gruppi di maggior successo sia sulle terre emerse che nei mari. Solo gli artropodi terrestri, dei quali gli **insetti** sono i rappresentanti più consistenti, comprendono centinaia di migliaia di specie diverse, che coprono pressoché ogni habitat, dalle foreste ai tetti dei capannoni industriali, dalle caverne ai mobili di casa. Solo di insetti sono conosciute quasi un milione di specie, e molte ancora sono certamente da descrivere.

La loro caratteristica principale è quella di possedere un **esoscheletro**, un tessuto tegumentario formato in gran parte da **chitina**, un polisaccaride complesso molto resistente che sorregge l'intera struttura dell'animale dall'esterno, a differenza di ciò che avviene nei vertebrati nei quali la struttura di sostegno (lo scheletro) è interna. Questo comporta delle differenze sostanziali tra artropodi e vertebrati, una su tutte la diversa modalità di accrescimento dell'individuo. Mentre nei vertebrati i tessuti molli possono crescere insieme allo scheletro avendo la possibilità di espandersi verso l'esterno, negli artropodi la presenza dell'esoscheletro lo impedisce. Per ovviare a questo problema, gli artropodi ricorrono in genere alle **mute**, un sistema che prevede la rottura dell'eso-

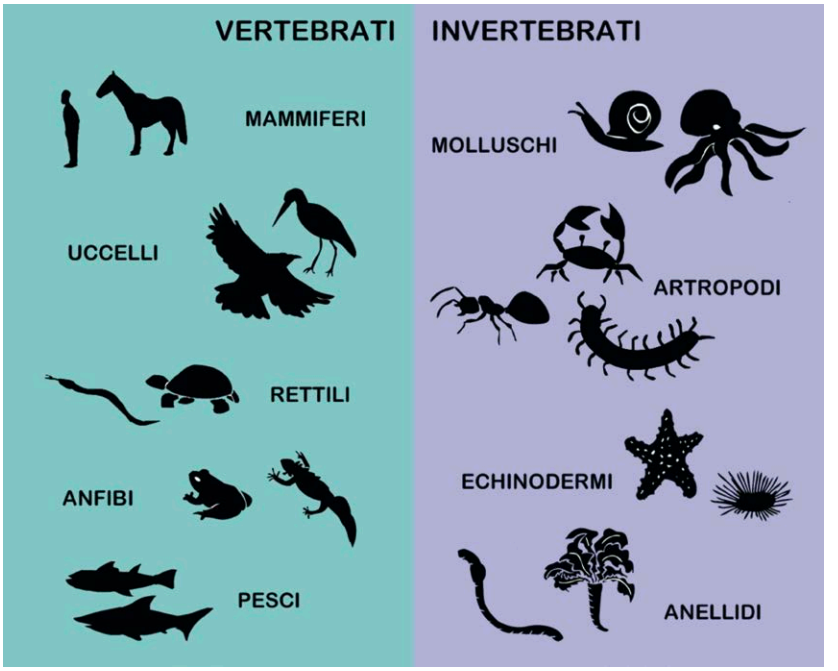

Figura 3.1 Rappresentazione schematica delle classi di vertebrati e di alcuni importanti gruppi di invertebrati.

scheletro ormai divenuto troppo piccolo in favore di uno nuovo più grande che si sviluppa sotto quello vecchio, all'inizio molle ma che una volta liberatosi e stesosi si irrigidisce, garantendo più spazio per l'accrescimento dei tessuti interni. Molti artropodi hanno evoluto metodi di crescita più complessi, ad esempio confinando solo in alcuni stadi giovanili le mute, per poi restare invariati durante la fase adulta. Negli insetti esistono vari tipi di metodi di accrescimento; i due principali sono la cosiddetta **olometabolia**, o **metamorfosi completa**, nella quale gli individui prima di divenire adulti passano attraversano diversi stadi larvali spesso anche molto diversi nella forma e nel comportamento rispetto all'adulto (come ad esempio nelle farfalle e nelle formiche), e l'**emimetabolia**, o **metamorfosi incompleta**, nella quale alla schiusa delle uova fuoriescono organismi simili agli adulti ma incompleti, che raggiungeranno la forma definitiva solo attraverso una serie successiva di mute (come ad esempio nelle libellule).

Altri importanti gruppi di artropodi sono gli **aracnidi**, dei quali i rappresentanti più conosciuti sono ragni e scorpioni, i **crostacei**, ad esempio aragoste, granchi e gamberi, e i **miriapodi**, o millepiedi, come le scolopendre e le scutigere.

2.2 Molluschi

Il Phylum dei molluschi (*Mollusca*) è anch'esso molto ricco di specie, alcune davvero comuni. Le lumache e le chiocciole, ad esempio, sono dei molluschi. La loro caratteristica è quella di non possedere alcun tipo di scheletro che sostiene l'intero corpo ma di avere un particolare apparato rigido detto **conchiglia** che si accresce generalmente partendo da una sola parte del corpo e che può essere utilizzata come rifugio o sostegno. La conchiglia non è però visibile in tutte le specie, in molti casi è residuale o del tutto scomparsa.

Anche i molluschi, come gli artropodi e i vertebrati, hanno colonizzato sia ambienti terrestri che acquatici. I molluschi marini sono moltissimi e alcuni decisamente noti (anche solo per la presenza nella dieta umana). Le forme sono molto varie; si va dai **bivalvi** (ad esempio cozze e ostriche), ai **gasteropodi** (organismi molto diffusi che presentano una conchiglia dalle forme più stravaganti, come ad esempio le 'turritelle' marine o gli 'strombi'), a seppie e polpi (**cefalopodi**), fino ad animali molto meno noti come i **solenogastri**. Anche le loro diete sono estremamente variabili; i bivalvi ad esempio sono organismi filtratori, ovvero filtrano l'acqua tramite apposite strutture catturando il particolato organico, mentre i polpi sono straordinari predatori, dotati peraltro di una intelligenza cognitiva estremamente avanzata e rara (se non unica) tra gli invertebrati. I molluschi terrestri (lumache e chiocciole), sono gasteropodi che hanno sviluppato dei veri e propri polmoni per sopravvivere fuori dall'ambiente acquatico, anche se necessitano di ambienti molto umidi per evitare la disidratazione; infatti, l'unica protezione che hanno contro la perdita di acqua attraverso i tessuti molli è una sostanza mucosa che li ricopre.

2.3 Altri gruppi di invertebrati

Altri importanti gruppi di invertebrati sono gli Echinodermi (Phylum *Echinodermata*), animali caratterizzati da un cosiddetto **dermascheletro**, una pelle rinforzata da numerosi ispessimenti calcarei, oltre che da un sistema di locomozione basato su un complesso insieme di canali interni al corpo nei quali viene regolata la pressione dell'acqua. I più conosciuti rappresentanti di questo gruppo sono le stelle marine (Classe *Asteroidea*), i ricci di mare (Classe *Echinoidea*) e i cetrioli di mare o oloturie (Classe *Holothuroidea*).

Infine tra gli invertebrati possono essere citati i lombrichi, che sono i più comuni rappresentanti del Phylum degli Anellidi (*Anellida*). La caratteristica di questo gruppo è quello di avere il corpo suddiviso in **metameri**, ovvero una serie di anelli più o meno identici tra loro, ognuno con un sistema muscolare proprio. Un altro esempio di anellidi oltre ai lombrichi sono i policheti, un gruppo ricchissimo di specie marine, sia sedentarie (che costruiscono una sorta di protezione a tunnel all'interno della sabbia e fanno fuoriuscire dei tentacoli per la filtrazione del cibo sospeso in acqua) che erranti. Quest'ultimi ricordano molto nella forma dei millepiedi.

3. Piante – Spermatofite

Le spermatofite non sono nient'altro che le piante che producono **semi** attraverso una riproduzione di tipo gamico (ovvero dove si prevede la presenza di due gameti). Genericamente la **Divisione** (questo il nome del gruppo sistematico) delle spermatofite è suddivisa in due Sottodivisioni, le **Angiosperme** (o Magnoliofite) e le **Gimnosperme**.

Le angiosperme sono le piante a seme più comuni ed ecologicamente dominanti. Gran parte delle piante con le quali abbiamo a che fare (la comune erba di campo, l'insalata dei nostri piatti, una quercia o un castagno in un bosco) sono angiosperme. Il fattore principale che caratterizza le angiosperme è la presenza di un **fiore** complesso, che può essere decisamente variabile in base alla specie.

Le angiosperme possono anche essere considerate il gruppo sistematico più evoluto tra le piante, avendo sviluppato una serie enorme di strategie adattative, sia da punto di vista della riproduzione (il colore vistoso dei fiori che attira gli insetti, ad esempio) che del reperimento delle risorse (come le piante carnivore, che utilizzano un fiore modificato per cibarsi di insetti). Anche i metodi di accrescimento sono molto efficaci, grazie ai sistemi fotosintetici che in certi casi pre-

vedono dei meccanismi di rafforzamento della produzione in presenza di maggiore luce e CO_2 (come i cosiddetti sistemi C3 e C4). Infine, il sistema vascolare formato dalle **trachee**, vasi grandi che hanno anche funzione di sostegno per la pianta, garantisce un flusso di acqua e nutrienti particolarmente efficace.

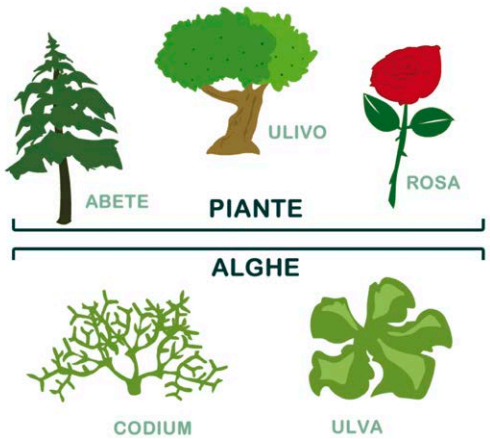

Figura 3.2 Alcuni esempi di piante e alghe.

Le Gimnosperme, di cui fanno parte ad esempio pini, abeti e larici, sono invece le piante a seme che presentano caratteristiche più primitive; in generale, tutte le strutture deputate alla riproduzione sono meno complesse che nelle angiosperme, con apparati maschili sempre divisi da quelli femminili (spesso su individui diversi maschio e femmina). I vasi, detti **fibrotracheidi**, sono più sottili e non hanno funzioni di sostegno. L'intero metabolismo delle gimnosperme è più lento rispetto alle angiosperme, caratteristica questa che, seppur in generale non sia molto premiante, lo diventa nel momento in cui le risorse sono carenti o disponibili a intermittenza con lunghi periodi di privazione. Le gimnosperme sono infatti molto presenti anche in aree con climi difficili, come quelli freddi di una tundra e di una vetta montana o quelli assolati di una fascia sabbiosa costiera, nelle quali poche angiosperme riescono a vivere.

3.1 Alghe

Un breve cenno è necessario sulle alghe, organismi spesso erroneamente inclusi nelle piante o definite addirittura piante acquatiche (fig. 3.2). In realtà, le alghe non hanno una ben precisa connotazione sistematica e le varie specie vengono spesso suddivise addirittura tra i diversi regni (un gruppo con queste caratteristiche viene definito **polifiletico**). Le alghe possono essere sia unicellulari che pluricellulari, fino a formare strutture che in qualche modo ricordano le foglie o i rami di una pianta. Tra i primi vi sono le **alghe azzurre**, o **cianobatteri**, organismi procarioti fotosintetici simili ai primi apparsi sulla terra, mentre alle seconde appartengono le **alghe verdi** (o **clorofite**), le quali includono sia specie unicellulari che specie più strutturate, senza però presentare mai tessuti specifici come radici, fusto o foglie. Ogni cellula del corpo delle alghe assorbe luce e nutrienti in maniera sostanzialmente autonoma, per cui di fatto le alghe non necessitano di un sistema vascolare.

Esistono molti tipi di alghe, alcune completamente slegate dalla fotosintesi. È questa forte variabilità nelle loro caratteristiche di base che le rende di difficile connotazione sistematica, e molti dibattiti sull'argomento sono tutt'oggi in corso.

Esercizi Unità 3

1. Qual è la caratteristica per la quale alcuni animali vengono detti omeotermi?

A. Vivono in ambienti che presentano la stessa temperatura.
B. Si trovano soltanto in aree con una temperatura superiore ai 20°.
C. Si trovano soltanto in aree con una temperatura inferiore ai 20°.
D. Ingeriscono mediamente sempre la stessa quantità di calorie.
E. Regolano la temperatura corporea mantenendola ad un valore fisso.

2. Qual è la caratteristica per la quale alcuni animali vengono detti ectotermi?

A. Si stabiliscono solo in aree particolarmente fredde.
B. Non hanno bisogno di calorie introdotte tramite il cibo per vivere.
C. La loro temperatura corporea dipende molto da fattori esterni.
D. Sono freddi esternamente e caldi internamente.
E. Non possono vivere in ambiente acquatico.

3. Quale di queste affermazioni è l'unica falsa?

A. I mammiferi sono vivipari.
B. I pesci non sono vertebrati.
C. I rettili sono cordati.
D. Gli uccelli sono omeotermi.
E. Le rane possiedono dei polmoni.

4. In base a che cosa i pesci detti condroitti si differenziano dagli osteitti?

A. Possiedono rudimentali polmoni.
B. Derivano da rettili ancestrali.
C. Vivono solo in acque salate.
D. Possiedono uno scheletro fatto in gran parte di cartilagine.
E. Producono significativamente meno uova.

5. I gasteropodi appartengono a quale gruppo sistematico superiore?

A. Anfibi.
B. Artropodi.
C. Protozoi.
D. Molluschi.
E. Aracnidi.

6. Gli scorpioni appartengono a quale gruppo sistematico?

A. Gasteropodi.
B. Crostacei.
C. Aracnidi.
D. Insetti.
E. Miriapodi.

7. Le seppie appartengono a quale gruppo sistematico?

A. Molluschi.
B. Crostacei.
C. Pesci.
D. Cetacei.
E. Echinodermi.

8. Le stelle marine appartengono a quale gruppo sistematico?

A. Molluschi.
B. Crostacei.
C. Pesci.
D. Echinodermi.
E. Insetti.

9. Quale di queste affermazioni è l'unica falsa?

A. Le gimnosperme sono spermatofite.
B. Le angiosperme hanno le strutture riproduttive in genere racchiuse nel fiore.
C. I vasi delle gimnosperme vengono detti fibrotracheidi.
D. Le angiosperme non producono frutti.
E. Le gimnosperme hanno le strutture riproduttive in genere separate.

10. Quale di queste affermazioni sulle alghe è l'unica vera?

A. Sono piante acquatiche.
B. Hanno un sistema vascolare più complesso delle spermatofite terrestri.
C. Vengono inserite sistematicamente insieme ai funghi.
D. Hanno radici più sviluppate delle piante terrestri.
E. Ogni cellula del tallo è in genere fotosintetizzante.

Unità 4

Breve storia della nascita e del dominio della vita sulla Terra

Una nota metafora usata in ambito scientifico afferma che se rapportassimo l'età della Terra (circa 4,5 miliardi di anni) ad un giorno di 24 ore, la storia evolutiva dell'uomo si svolgerebbe soltanto negli ultimi 3 minuti. Questo concetto aiuta a comprendere come il tempo sia il vero alleato dell'evoluzione, nella quale eventi casuali hanno una grande rilevanza. Infatti, solo grazie a periodi di tempo sufficientemente lunghi un'architettura ecologica così complessa ed una varietà così ampia di forme di vita autonoma si sono potute sviluppare ed evolvere sul pianeta.

Sebbene non ci sia molta uniformità nelle varie teorie sull'origine della vita sulla Terra, quello che è certo è che le prime forme organiche non erano nient'altro che singole molecole, formatesi molto probabilmente in piccoli laghi o pozze. L'atmosfera terrestre di 4 miliardi di anni fa, quando il pianeta iniziava a raffreddarsi fino a temperature superficiali alle quali l'acqua poteva presentarsi allo stato liquido e dove andavano formandosi i primi grandi oceani, era probabilmente costituita da una miscela di vapore acqueo, idrogeno, ammoniaca, anidride carbonica, metano e azoto. Era invece totalmente assente ossigeno libero; questo, per quanto possa suonare un po' strano, sembra essere uno dei fattori principali che hanno permesso la formazione delle prime molecole organiche e quindi della vita. Infatti, oltre all'enorme calore generato dai moltissimi vulcani allora attivi e dai frequentissimi fulmini, la superficie dell'acqua era costantemente sottoposta all'azione delle radiazioni ultraviolette del Sole a causa della mancanza di uno strato di ossigeno sotto forma di **ozono** (O_3) che ne riducesse l'energia. Un famoso esperimento del 1953, eseguito dal biochimico **Stanley Miller**, provò che facendo passare forti scariche elettriche attraverso una miscela di gas simile a quella che si ipotizzava poter essere l'atmosfera primordiale, si potevano ottenere numerose molecole organiche. Questo in qualche modo forniva una prova empirica della possibile esistenza, agli albori della vita, di quello che nel 1924 il biologo russo **Alexander Oparin** definì '**brodo primordiale**', un ambiente acquoso nel quale, grazie alla grande quantità di energia disponibile, si sarebbero potute formare molte delle specie chimiche basilari per la formazione della vita, come ad esempio amminoacidi, acidi nucleici e ATP.

Ciò che era presente nei mari, negli oceani e nei piccoli specchi d'acqua di circa 4 miliardi di anni fa era quindi una complessa miscela di molecole organiche, non ancora organizzate in niente che fosse autonomo e che potesse replicarsi, in sostanza in qualcosa di 'vivente'. Si pensa che alcune brevissime sequenze nucleotidiche, i **ribozimi**, abbiano iniziato a duplicarsi attraverso una lentissima catalisi spontanea, non avendo chiaramente la necessità che la reazione avvenisse in tempi brevi e compatibili con la vita di un organismo. Ciò che può essere accaduto dopo è l''inclusione' di alcune di queste molecole in una sorta di 'bolla', ancora ben lontana da una vera membrana cellulare ma probabilmente già formata da fosfolipidi, che avrebbe permesso di facilitare e accelerare, dato l'ambiente protetto e non dispersivo, le reazioni chimiche, dando il via ad una sorta di primo abbozzo di metabolismo. È da questo punto che sostanzialmente si parla di **origine della**

vita, da quando cioè si vengono a formare entità autonome chiuse, all'interno delle quali avvengono reazioni biochimiche tese al mantenimento dell'entità stessa nel tempo.

Non è ancora ben chiara però la 'data' di inizio della vita. I più antichi reperti fossili che testimonierebbero la presenza di forme di vita ancestrale sono i cosiddetti **stromatoliti**, formazioni rocciose stratiformi risalenti a 3,5 miliardi di anni fa che qualcuno ipotizza essere protobatteri accresciutisi nei fondali oceanici. Certamente per molte centinaia di milioni di anni l'unica forma di vita fu costituita da batteri procarioti, i quali, data l'assenza di ossigeno, sottraevano energia dall'ambiente tramite respirazione **anaerobica**, ovvero utilizzando composti diversi dall'ossigeno (ad esempio nitrati e solfati) come accettore di elettroni.

Una svolta importante avvenne con la comparsa della **fotosintesi**, ovvero della capacità di alcuni batteri di produrre molecole energetiche in maniera autonoma partendo da elementi non organici grazie alla luce solare. Questo permise loro di svincolarsi dalla necessità di reperire dall'ambiente esterno le molecole energetiche, le quali probabilmente con l'aumento esplosivo dei batteri stessi venivano consumate in maniera molto superiore rispetto a quanto non venissero riformate in maniera naturale, diventando nel tempo sempre più scarse.

La **fotosintesi**, durante la sua fase luminosa, oltre all'energia utile per l'organismo, produce anche ossigeno libero (O_2). L'ossigeno emesso dai primi batteri si diffuse lentamente sia nell'acqua che, soprattutto, nell'atmosfera, creando le basi per il passo evolutivo seguente, quello dello sfruttamento da parte di alcuni batteri dell'ossigeno come accettore di elettroni durante la respirazione (respirazione **aerobica**). L'ossigeno, rispetto a tutti gli altri elementi utilizzati dagli organismi anaerobici, garantisce un **rendimento** maggiore, ovvero riesce a fornire molta più energia durante le fasi biochimiche della respirazione. Data la sua efficacia, è facile intuire come questa tipologia di respirazione si sia affermata rispetto alle altre, divenendo il sistema utilizzato pressoché da tutti gli organismi viventi ancora oggi.

Un ulteriore elemento importante nella storia evolutiva della vita è stato quello della compartimentazione del materiale genetico e di alcuni fondamentali processi metabolici di sintesi in un **nucleo cellulare**, migliorando di fatto l'efficienza vitale della cellula stessa.

Particolarmente interessante ed affascinante è la cosiddetta **teoria endosimbiontica**, secondo la quale organismi unicellulari si sarebbero uniti in **simbiosi mutualistica** (interazione molto stretta tra due o più organismi che cooperano per trarre reciproci vantaggi) grazie all'inglobamento di uno nell'altro. Questa teoria viene utilizzata per spiegare l'esistenza dei **mitocondri** e dei **plastidi** all'interno delle cellule, organuli deputati soprattutto alla respirazione cellulare i primi e alla fotosintesi nelle piante i secondi, che presentano caratteristiche molto peculiari e che li fanno somigliare molto a dei batteri. Tra queste caratteristiche si possono citare la presenza di una membrana propria e, soprattutto, un patrimonio genetico totalmente estraneo a quello del resto della cellula. Grazie a questo importante passaggio, intorno a 1,5 miliardi di anni fa si vennero a formare le prime cellule ed i primi organismi **eucarioti**, con un nucleo identificabile e i primi organuli cellulari deputati alle varie funzioni vitali.

Una volta raggiunto questo notevole grado di specializzazione, il passo successivo fu quello dell'**organizzazione** di queste cellule primordiali in gruppi che in qualche modo interagissero tra loro, sia per migliorare l'efficacia di sfruttamento delle risorse che per dare una maggiore protezione reciproca. Ancora non è chiara la datazione precisa della comparsa dei primi **organismi pluricellulari**, cioè formati da più cellule; quello che è ipotizzabile è che tra il miliardo e mezzo e i 600 milioni di anni fa si sia avuta lentamente la comparsa dei primi **tessuti** biologici, gruppi di cellule unite e interagenti tra loro, i quali a loro volta hanno unito e diversificato le loro funzioni all'interno di un unico soggetto, seguendo un preciso ordine dettato dal codice genetico, divenuto sempre più complesso. Tra i più antichi organismi pluricellulari già con una evidente struttura

anatomica vi sono quelli della cosiddetta **fauna di Ediacara**, dal luogo in Australia in cui sono stati ritrovati numerosi reperti fossili risalenti a circa 600 milioni di anni fa.

Da quel momento in poi la vita iniziò a svilupparsi rapidamente in numerose direzioni, diversificandosi in moltissime forme e colonizzando anche le terre emerse. Si formarono le prime piante terrestri e i primi boschi, che contribuirono a generare altro ossigeno, rendendo l'atmosfera via via sempre più simile a quella odierna. Questo permise lo svincolo dal mezzo acquoso di molti organismi (anche se l'acqua rimane tuttora un elemento vitale) e aumentò ulteriormente le possibilità di espansione e di diversificazione delle specie. La Terra di 300 milioni di anni fa era già ricchissima di forme varie ed estremamente complesse (fig. 4.1).

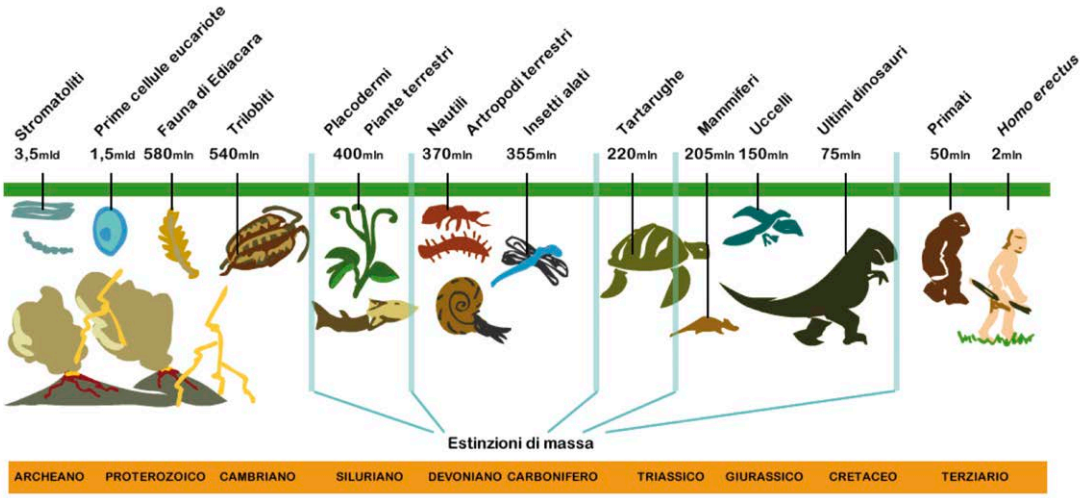

Figura 4.1 Schema delle fasi evolutive della vita sulla Terra.

Durante la storia biologica della Terra, vi sono stati anche numerosi sconvolgimenti, spesso dovuti a grandi catastrofi naturali, che hanno portato alle cosiddette **estinzioni di massa** (cinque quelle conosciute) con riduzione fino al 95% delle specie presenti. Nota a tutti è l'estinzione dei grandi rettili nel periodo Cretaceo (circa 65 milioni di anni fa), quando probabilmente un enorme meteorite si abbatté sulla terra generando uno sconvolgimento climatico che coinvolse tutto il pianeta e che portò alla scomparsa di oltre il 70% delle specie esistenti. I primi mammiferi, che fino a quel periodo erano rappresentati da poche piccole specie simili a topi, riuscirono a sopravvivere a questo cambiamento, probabilmente anche grazie all'**omeotermia** (mantenimento della temperatura corporea costante) e andarono nel tempo a occupare le **nicchie ecologiche** lasciate libere dalle numerose specie di dinosauri estinti, e diventando così il gruppo di vertebrati dominanti sulle terre emerse. Un processo di rapida diversificazione con formazione di numerose specie prende il nome di **radiazione evolutiva** o **adattativa**.

Gli ultimi 100-150 anni hanno visto un incremento drastico dell'impatto dell'uomo sui sistemi naturali. Per quanto la storia dell'uomo moderno attraversi diverse migliaia di anni, è dal periodo della rivoluzione industriale in poi, con l'accelerazione della crescita demografica e dello sfruttamento massiccio delle risorse naturali, che l'ambiente ha subito e sta subendo le maggiori pressioni, con un grave impatto sulle comunità biotiche che ha portato alla scomparsa di numerose specie sia animali che vegetali. Per questo motivo si parla oggi di **sesta estinzione di massa**, detta **antropogenica**, cioè di origine umana.

Esercizi Unità 4

1. Approssimativamente, qual è l'età stimata della Terra?

A. 12 miliardi di anni.
B. 4,5 miliardi di anni.
C. 3 miliardi di anni.
D. 1,5 miliardi di anni.
E. 500 milioni di anni.

2. Durante le prime fasi della nascita della vita sulla Terra, le prime molecole organiche si formarono:

A. in grotte non esposte alle radiazioni solari.
B. all'interno delle nubi ricche di metano.
C. nei vulcani.
D. all'interno dei terreni sabbiosi desertici.
E. in ambiente acquatico.

3. Che cosa era il noto 'brodo primordiale', così definito dal biologo Alexander Oparin?

A. La miscela di acqua e composti organici probabilmente presente durante le prime fasi evolutive della vita.
B. Il liquido amniotico dei primi mammiferi placentati.
C. L'insieme dei composti gassosi che portarono alla strutturazione dell'atmosfera attuale.
D. L'insieme dei primi oceani, che data l'ampia presenza di vulcani e di radiazioni solari non filtrate avevano una temperatura media prossima all'ebollizione.
E. La miscela di acqua, metano e idrocarburi presente sulla Terra intorno a 5 miliardi di anni fa.

4. Quale fu il principale fattore che contribuì all'aumento dell'ossigeno atmosferico durante le prime fasi evolutive della Terra?

A. La fuoriuscita massiccia dai vulcani.
B. I numerosi fulmini che abbattendosi sugli oceani scindevano l'ossigeno dall'idrogeno.
C. La separazione degli atomi di ozono tramite i raggi ultravioletti del Sole.
D. La fotosintesi dei primi organismi.
E. La fusione di ghiaccio proveniente dai numerosi meteoriti che si abbatterono sulla Terra.

5. Che cosa spiega la cosiddetta 'teoria endosimbiontica'?

A. L'evoluzione dei mammiferi.
B. La nascita degli oceani.
C. La presenza di mitocondri e plastidi nelle cellule eucariote.
D. Lo sviluppo dei semi nelle prime piante terrestri.
E. L'estinzione dei dinosauri.

6. A che periodo risale la nota estinzione di massa nella quale scomparvero i grandi rettili?

A. Proterozoico, ca. 1 miliardo di anni fa.
B. Cambriano, ca. 500 milioni di anni fa.
C. Triassico, ca. 230 milioni di anni fa.
D. Giurassico, ca. 170 milioni di anni fa.
E. Cretaceo, circa 65 milioni di anni fa.

Unità 5

L'evoluzione dell'uomo

L'uomo, o più propriamente il genere *Homo*, come tutti ben sanno si è originato da un antenato molto simile alle attuali scimmie antropomorfe, molto probabilmente lo stesso degli attuali scimpanzé. Quello che forse è meno noto è che il processo cosiddetto di **ominazione** non è un processo lineare, ma caratterizzato dalla formazione ed estinzione di numerose specie nel corso del tempo, ed ancora oggi non sono ben chiari tutti i passaggi che hanno portato allo sviluppo dell'uomo moderno (***Homo sapiens***, fig. 5.1). L'origine del fenomeno evolutivo che ha portato ai ceppi che sarebbero divenuti i primi **ominidi** è da identificarsi in un'area dell'Africa orientale, intorno ai 5-6 milioni di anni fa, la cosiddetta *Rift Valley*, una profonda valle di origine tettonica le cui condizioni ambientali erano ottimali affinché tutta l'area fosse fertile e ricchissima di risorse. Uno dei passaggi chiave nel corso della ominazione è l'acquisizione della **postura eretta** o **bipedismo**, che permise di svincolare gli arti superiori dall'attività di movimento per utilizzarli in modi diversi. Si ipotizza oggi che la postura eretta si sia evoluta insieme all'incremento del **nomadismo**, ovvero dello spostamento geografico delle popolazioni per la ricerca di risorse o rifugi sicuri, fenomeno dovuto forse ad un importante cambiamento climatico che limitò le risorse nell'area della Rift Valley. Le popolazioni dei primi ominidi, spostandosi in habitat ricchi di aree con vegetazione a savana dove i predatori più pericolosi come i grandi felini attaccavano nascondendosi tra le erbe alte, sarebbero riusciti ad avvistare il potenziale pericolo in tempo per potersi rifugiare proprio grazie alla postura eretta, che garantiva una maggiore visibilità dell'ambiente circostante. Questo carattere sarebbe quindi stato premiato dalla selezione naturale, perfezionandosi poi nel tempo. La possibilità di utilizzo delle **mani** per attività diverse dal movimento, avrebbe fatto in modo che anche le attività cerebrali migliorassero, date le grandi potenzialità che l'arto dei primati, dotato del cosiddetto **pollice opponibile**, forniscono rispetto a quello di molti altri vertebrati.

Alcuni dei primi ominidi riconosciuti sono riferibili ad alcune specie del genere ***Australopithecus***, vissute circa 4 milioni di anni fa, molto simili agli attuali scimpanzé ma con postura eretta. Probabilmente queste specie sono state le prime ad utilizzare dei rudimentali utensili, anche se i ritrovamenti fossili in tal senso sono molto scarsi. Alcuni ceppi di australopiteco avrebbero portato alla formazione di diverse specie di ominidi del genere ***Paranthropus*** (che hanno avuto una storia evolutiva propria estinguendosi circa un milione di anni fa), mentre altri avrebbero portato alla formazione del cosiddetto ***Homo habilis***, intorno ai 2,5 milioni di anni fa, una specie decisamente più evoluta e della quale sono note le abilità nello sfruttare utensili rudimentali, come delle pietre scheggiate usate come coltelli.

Come detto, i passaggi evolutivi non sono chiari soprattutto per la mancanza di resti fossili che facciano da anelli di congiunzione tra le specie primitive e l'uomo moderno. È certo però che uno degli stadi chiave che già presentava caratteristiche in qualche modo simili agli uomini attuali è ***Homo erectus***, una specie formatasi intorno a 1,5 milioni di anni fa e organizzata in gruppi so-

ciali complessi e per certi versi simili a quelli odierni, facendo uso di utensili molto più elaborati ed evoluti rispetto ai suoi predecessori. *H. erectus* è coevo di un'altra specie (per alcuni in realtà si tratta della stessa specie), ***Homo ergaster***, anch'esso dalle importanti abilità manuali e con una buona organizzazione sociale. Entrambe queste specie hanno compiuto grandi migrazioni nel tempo colonizzando tutto il grande continente eurasiatico, sfruttando in maniera molto efficace le risorse naturali e affidandosi alle loro ottime abilità nella caccia. Sembra che queste specie siano state anche le prime ad avere un certo controllo sul **fuoco** come fonte di calore, protezione e cottura dei cibi. Lo sviluppo delle abilità nel produrre e gestire il fuoco sarà poi un motore formidabile per lo sviluppo della socialità e delle abilità tecnologiche dei primi uomini moderni.

Un'importante tappa successiva è quella della comparsa di ***Homo heidelbergensis***, specie molto simile all'uomo moderno e vissuta tra i 600 mila e i 100 mila anni fa, la quale sviluppò notevoli caratteri sociali e di utilizzo di utensili complessi; da questa si sarebbero distaccati due ceppi principali più o meno in parallelo, ***Homo neanderthalensis*** e ***Homo sapiens***, a partire da circa 200 mila anni fa. Queste due specie, piuttosto simili tra loro, hanno convissuto per molte decine di migliaia di anni, probabilmente in molti casi essendo anche in competizione l'una contro l'altra. L'origine unica dell'uomo moderno (*H. sapiens*) è stato un tema molto dibattuto. Oggi molti studi genetici confermano che tutte le popolazioni attuali deriverebbero da un'unica popolazione subsahariana di circa 200 mila anni fa, dalla quale alcune sottopopolazioni avrebbero compiuto lunghe migrazioni verso molte altre zone del pianeta (teoria definita dagli antropologi **Out of Africa II**, che segue la **Out of Africa I**, stagione di grandi migrazioni avvenuta intorno ai 2-1,5 milioni di anni fa da parte di popolazioni di *H. erectus*).

Ciò che forse ha permesso a *H. sapiens* (l'uomo attuale) di prevalere su *H. neanderthalensis* fino in qualche modo a provocarne l'estinzione (intorno ai 40-35 mila anni fa) sarebbe stato non tanto, come si è pensato per molto tempo, la superiore capacità intellettiva, probabilmente invece molto simile, quanto la capacità di svincolarsi dalle grandi prede e dalla caccia ai macromam-

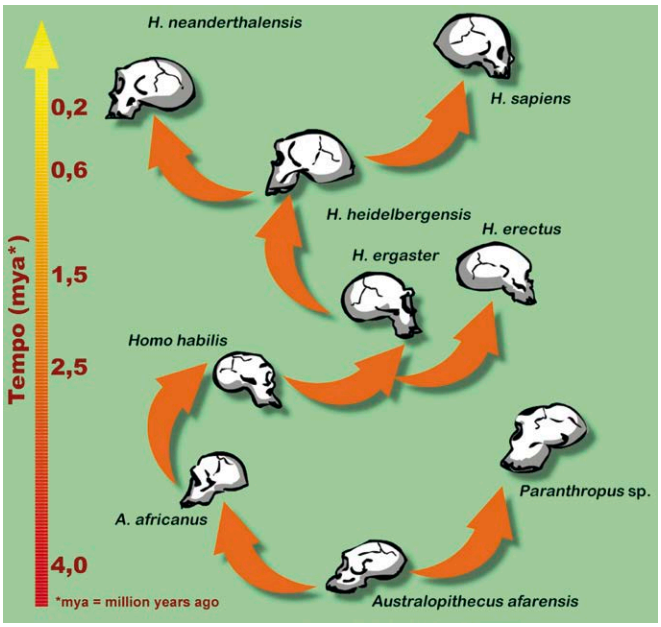

Figura 5.1 Schema delle principali fasi evolutive dell'uomo.

miferi, trovando nuove forme di reperimento delle risorse. I primi uomini iniziarono a cacciare anche piccole prede terrestri e acquatiche, oltre a perfezionare primitive tecniche agricole e di domesticazione degli animali; questo garantiva loro la possibilità di avere molte risorse e quindi di sopravvivere anche nei casi in cui, come di fatto è più volte avvenuto, dovessero ridursi di molto le popolazioni delle grandi prede (soprattutto grandi mammiferi, molti dei quali adesso estinti come il megaterio e il mammut) a causa anche della forte pressione dovuta alla caccia. Questa capacità non si è mai evoluta nelle popolazioni di Neanderthal se non in maniera molto marginale; essi continuarono a basare la loro dieta sulla caccia alle grandi prede, riducendone così notevolmente le popolazioni, in certi casi fino alla loro completa estinzione. Di conseguenza, anch'essi iniziarono un rapido declino, finché non scomparvero del tutto. C'è da dire che molti studi affermano che le due specie fossero **interfeconde**, ovvero potessero accoppiarsi tra loro e formare degli **ibridi**, per cui alcune popolazioni umane attuali potrebbero essere derivate parzialmente anche da individui di Neanderthal. In effetti, alcuni recenti studi genetici confermerebbero questo fatto.

Dal momento in cui, circa 35 mila anni fa, ***Homo sapiens*** rimase l'unica specie umana al mondo (per quanto esistano dei ritrovamenti che testimonierebbero l'esistenza di una seconda specie vissuta in Indonesia fino ad almeno 10-15 mila anni fa, ***Homo floresiensis***), è iniziata quella che di fatto è la storia odierna, con l'incremento verticale delle aggregazioni sociali, dei gruppi organizzati per la caccia e l'agricoltura, dello sviluppo di linguaggi complessi e di metodi di trasmissione del sapere. Inizia ad emergere il concetto di **cultura**, un complesso di conoscenze tramandabili che garantisce che le esperienze delle generazioni precedenti non vengano perse in quelle successive, potendo così creare una base di sapere utile a far sì che le comunità crescano e si amplino, migliorando le condizioni di vita dei suoi componenti. Si formano i primi grandi **complessi urbani** e i primi **popoli**, con culture e tratti propri che si espandono e si sviluppano in quasi tutte aree del pianeta. La **storia** dell'uomo moderno inizia proprio nel momento in cui si concretizzano caratteri culturali che identificano periodo, condizioni sociali e usanze stabili nel tempo, uno su tutti la **scrittura**. Tutto il sapere attuale è frutto della trasmissibilità delle culture passate, senza le quali non esisterebbero in alcun modo quelle presenti.

Esercizi Unità 5

1. Dove è situata la nota *Rift Valley*, dalla quale sembra sia iniziato il processo evolutivo dell'uomo moderno?

A. Sud-Est asiatico.
B. Nord Africa.
C. America centrale.
D. Africa orientale.
E. Europa mediorientale.

2. Da quale caratteristica sembra sia stata fortemente aiutata l'affermazione del bipedismo nell'uomo?

A. Riduceva lo sforzo per raggiungere la frutta, date le abitudini ancora arboricole.
B. Permetteva una corsa più rapida per la fuga dai predatori.
C. Permetteva di avvistare prima i predatori tra l'erba alta della savana.
D. Garantiva un maggiore successo nelle lotte tra maschi.
E. Riduceva il pericolo di predazione dai predatori volanti.

3. Uno degli elementi più importanti che avrebbe aiutato l'evoluzione delle abilità e delle capacità intellettive nei primi ominidi è:

A. la variazione del sistema sociale.
B. la vita in ambienti riparati come le caverne.
C. lo svincolo degli arti superiori dal moto.
D. lo sviluppo di pratiche religiose.
E. la vita totalmente arboricola.

4. Qual è il corretto ordine cronologico di comparsa di questi ominidi?

A. *Australopithecus afarensis*, *Homo habilis*, *Homo neanderthalensis*.
B. *Homo habilis*, *Australopithecus afarensis*, *Homo neanderthalensis*.
C. *Homo habilis*, *Homo neanderthalensis*, *Australopithecus afarensis*.
D. *Homo neanderthalensis*, *Australopithecus afarensis*, *Homo habilis*.
E. *Australopithecus afarensis*, *Homo neanderthalensis*, *Homo habilis.*

5. Rispetto a *Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis* è comparso all'incirca:

A. 400 mila anni prima.
B. 300 mila anni prima.
C. 200 mila anni prima.
D. 100 mila anni prima.
E. nello stesso periodo.

6. L'estinzione di *Homo neanderthalensis* risale a circa:

A. 1 milione di anni fa.
B. 500 mila anni fa.
C. 250 mila anni fa.
D. 35 mila anni fa.
E. 5 mila anni fa.

7. A che cosa si riferisce, in antropologia evolutiva, il concetto di 'Out of Africa'?

A. Alla trasmissione della conoscenza acquisita nella Rift Valley verso popolazioni asiatiche.
B. Al trasposto di resti fossili di ominidi attraverso movimenti tettonici.
C. Allo sviluppo culturale e sociale avvenuto prevalentemente in aree esterne all'area di origine di *Homo sapiens*.
D. Alla capacità dei popoli africani di *Homo neanderthalensis* di adattarsi meglio ai cambiamenti climatici.
E. Alle stagioni di grandi migrazioni effettuate da intere popolazioni africane di *Homo erectus* prima e *Homo sapiens* poi.

Parte E – Basi di anatomia e fisiologia animale e vegetale

Unità 1

Generalità

Parlando di anatomia umana, è bene ricordare come l'uomo sia, prima di tutto, un mammifero tetrapode, per cui condivide con tutti gli altri mammiferi tetrapodi gran parte delle strutture anatomiche principali. A dire il vero, lo schema basilare anatomico è in buona parte riscontrabile in tutti i vertebrati, i quali infatti provengono tutti da un antichissimo antenato comune; partendo da quello schema arcaico, l'evoluzione ha 'sistemato' i vari apparati in tantissime soluzioni diverse. Basta infatti pensare che tutti i vertebrati hanno due occhi, una bocca provvista di lingua e denti, apparati uditivi e olfattivi, un sistema circolatorio chiuso, quattro arti e una coda (il coccige è il residuo di coda nell'uomo). In effetti, la cosiddetta **organizzazione cefalo-caudale**, ovvero la presenza di testa, tronco e addome è uno schema molto efficace che si è evoluto in gran parte degli organismi animali viventi, seppur con notevoli differenze nei vari gruppi. Gli insetti, ad esempio, presentano la stessa organizzazione, ma con differenze sostanziali. Oltre che prevedere uno scheletro esterno e non interno, tutte le loro strutture sono molto diverse da quelle dei vertebrati. Gli occhi, ad esempio, seppure per posizione e numero (due) sembrino simili a quelli dei vertebrati, sono in realtà **occhi composti**, ovvero un insieme di tanti piccole strutture fotorecettrici dette **ommatidi** che insieme formano una singola immagine nel cervello dell'insetto; la stessa bocca è molto diversa, comprende una serie di strutture accessorie (come i **palpi**) che ne facilitano l'utilizzo. Molte altre sono le differenze, come il **sistema circolatorio aperto** (il sangue non confinato solo in una serie di vasi ma anche libero all'interno del corpo) o molto più banalmente la presenza di sei zampe invece di quattro.

Anche gli aracnidi (come ragni, scorpioni e opilioni), per fare un altro esempio, sono organizzati allo stesso modo, ma anche qui vi sono alcune differenze evidenti, una su tutte la presenza di otto zampe (oltre ad altre appendici come i **cheliceri**). A differenza degli insetti, gli aracnidi non hanno occhi composti ma semplici **ocelli**, non particolarmente complessi ma in certi casi molto efficaci. Spesso ne hanno ben più di due (fino a otto nei ragni), indipendenti tra loro, disposti frontalmente, lateralmente e sulla parte superiore della testa.

Il mondo animale è comunque estremamente vasto e le strutture anatomiche dei vari organismi talmente diverse che è impossibile riassumerle tutte. In realtà neanche si sa quante siano le specie animali sul pianeta. Le stime proposte variano dai 3-4 milioni fino addirittura ad alcune decine di milioni, anche se secondo quelle più attendibili il numero dovrebbe aggirarsi intorno ai 10-12 milioni. Di queste ne abbiamo identificate probabilmente solo una stretta minoranza, forse non più del 15-20%. Quindi, per quanto si pensi di conoscere bene il pianeta vivente il cui abitiamo, la realtà ci dice tutt'altro.

La scienza che studia le relazioni anatomiche tra i vari gruppi sistematici è l'**anatomia comparata**, che è stata fondamentale nella storia della biologia evoluzionistica per trovare analogie e diffe-

renze tra le specie (soprattutto tra vertebrati) e aiutare la tassonomia a sviluppare le varie categorie sistematiche grazie alle quali possiamo oggi identificare e connotare un organismo (fig. 1.1).

Discorso molto simile può essere fatto per le piante, gruppo vasto e incredibilmente ricco di specie, quasi 400 mila quelle conosciute ad oggi. Sappiamo tutti quanto siano importanti le piante, dato che sono coloro che trasformano la materia inorganica in organica.

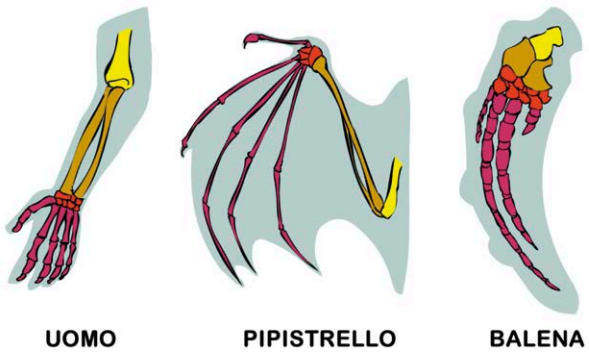

Figura 1.1 Esempio di variazione della stessa struttura anatomica tra gruppi sistematici diversi di mammiferi.

La varietà di forme è evidente, basta fare una passeggiata in un qualsiasi prato o bosco per accorgersi delle grandi differenze che esistono tra un albero di pino, un filo d'erba e un rovo. Alle molte forme delle specie presenti in natura, sono da aggiungere le varietà dovute all'uomo (dette anche **cultivar**), che grazie alla selezione artificiale ha modificato l'aspetto e soprattutto la produttività di molte piante per poterle sfruttare in maniera migliore di quanto non sarebbe possibile nella loro forma naturale. I vegetali che coltiviamo e mangiamo, i fiori ornamentali dei nostri giardini e le nostre piante da appartamento sono in gran parte dei cultivar. In sostanza, il concetto è simile a quello che chiamiamo '**razze**' tra le varianti fenotipiche della stessa specie animale; i cani sono uno degli esempi più comuni, ma anche molti animali da allevamento lo sono.

Esercizi Unità 1

1. Un cane e una farfalla possiedono un sistema circolatorio rispettivamente:

A. ramificato e lineare.
B. complesso e semplice.
C. pressorio e costrittivo.
D. chiuso e aperto.
E. finito e non finito.

2. Quale di queste serie è ordinata dall'animale con minor numero a quello con maggior numero di zampe (o appendici)?

A. Farfalla, gatto, scorpione.
B. Lupo, formica, ragno.
C. Opilione, topo, coleottero.
D. Ragno, blatta, gufo.
E. Rana, acaro, mosca.

3. Come vengono detti gli occhi degli insetti?

A. Composti.
B. Piccoli.
C. Ridotti.
D. Parziali.
E. Complementari.

4. Approssimativamente, qual è la stima più credibile del numero di specie animali sul pianeta?

A. 1000.
B. 100 mila.
C. 12 milioni.
D. 520 milioni.
E. oltre 1 miliardo.

Unità 2

Anatomia umana: il sistema circolatorio

Come detto, l'anatomia umana può essere presa come modello generale per tutti i mammiferi; ovviamente ci riguarda un po' più da vicino. Qui cerchiamo di fare dei brevi richiami ai principali apparati anatomici: circolatorio, respiratorio, digerente, nervoso, muscolare e scheletrico.

Il **sistema (o apparato) circolatorio**, è costituito dall'insieme dei **vasi sanguigni** e di tutte le strutture che servono a portare il sangue in tutto il corpo. La funzione principale del sangue è quella di ossigenare e nutrire i tessuti grazie al trasporto di molecole di ossigeno raccolte durante la respirazione polmonare e i nutrienti estratti dalla digestione del cibo. Il sistema circolatorio nei mammiferi è un **sistema chiuso**, ovvero tutto il sangue è contenuto all'interno di vasi sanguigni. Il sistema è inoltre detto **doppio**, in quanto si distinguono due circuiti, uno per la **circolazione (o circuito) polmonare**, grazie alla quale il sangue raggiunge i polmoni e si arricchisce di ossigeno, e uno per la **circolazione (o circuito) sistemica**, che serve a trasportare ossigeno e nutrienti nel resto del corpo.

Il motore che spinge il sangue all'interno dei vasi è il **cuore**. Il cuore è una struttura prevalentemente muscolare che funziona esattamente come una pompa, con valvole e camere. Grazie ai battiti, ovvero alle fasi alterne di contrazione e rilascio del muscolo cardiaco (detto **miocardio**), il sangue viene da una parte spinto e dall'altra richiamato, in maniera da mantenere sempre in movimento il fluido sanguigno. Il cuore è suddiviso in quattro camere, **due atri** e **due ventricoli**. L'atrio destro accoglie il sangue povero di ossigeno proveniente dal circuito sistemico, attraverso una valvola atrioventricolare il sangue passa al ventricolo destro per poi essere pompato verso il circuito polmonare. Al ritorno, il sangue arricchito di ossigeno nei polmoni entra nell'atrio sinistro, passa al ventricolo sinistro e da lì viene pompato nel resto del corpo, chiudendo il circuito (fig. 2.1).

I vasi che trasportano il sangue sono fondamentalmente di tre tipi: **arterie, vene e capillari**. Le arterie sono quelle che portano il sangue dal cuore verso tutte le regioni del corpo, per cui devono sopportare una grande pressione dovuta alle contrazioni cardiache che spingono il sangue al loro interno. Per questo motivo le pareti delle arterie sono molto resistenti e soprattutto molto elastiche. I capillari sono invece i piccoli vasi preposti allo scambio di ossigeno e nutrienti nei vari tessuti, per questo, dovendo raggiungere ogni parte del corpo, sono in genere di diametro molto piccolo e dotati di una parete estremamente sottile che facilita gli scambi. Le vene, infine, sono quelle che hanno il compito di riportare il sangue impoverito verso il cuore e i polmoni. Data l'estrema perdita

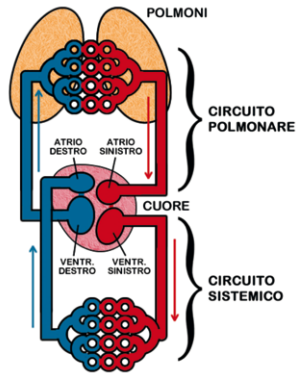

Figura 2.1 Schema dell'apparato circolatorio umano (N.B.: vista frontale, sx e dx sono invertiti).

di pressione durante il passaggio nei capillari, il sangue venoso deve ricorrere a degli 'stratagemmi' per potersi muovere verso le parti alte del corpo e verso il cuore. Uno di questi è utilizzare la compressione dovuta al movimento dei muscoli scheletrici (ad esempio delle braccia e delle gambe) per garantire pressione all'interno della vena; l'altro è di possedere delle cosiddette **valvole a nido di rondine**, delle sorte di lembi all'interno della vena che fanno sì che una volta compresso il sangue fluisca soltanto nella direzione del cuore.

Il sangue è un fluido organico molto complesso. Tra le altre componenti, vi sono due categorie di cellule fondamentali, i **globuli bianchi** (o **leucociti**) e i **globuli rossi** (o **eritrociti**). I primi sono quelli prevalentemente deputati alla difesa dell'organismo e hanno varie forme e specializzazioni. I secondi sono quelli che hanno il compito determinante di trasporto dell'ossigeno. Una delle componenti principali presenti al loro interno è una proteina complessa detta **emoglobina**, nella quale è presente un gruppo con un atomo di ferro; questo sarà l'elemento che, ossidandosi da Fe^{+2} a Fe^{+3} raccoglierà l'ossigeno dai polmoni e lo rilascerà, nuovamente riducendosi a Fe^{+2}, nei vari tessuti.

Esercizi Unità 2

1. Di quale tipo fa parte il sistema circolatorio dei vertebrati?

A. Aperto.
B. Chiuso.
C. Serrato.
D. Libero.
E. Modulare.

2. Di quale tipo fa parte il sistema circolatorio dei mammiferi?

A. Semplice.
B. Triplo.
C. Circolare.
D. Singolo.
E. Doppio.

3. Come vengono detti due circuiti dell'apparato circolatorio umano?

A. Renale e limbico.
B. Tissutale e cerebrale.
C. Polmonare e sistemico.
D. Destro e sinistro.
E. Anteriore e posteriore.

4. Una volta ossigenato, il sangue in quale comparto cardiaco affluisce?

A. Ventricolo destro.
B. Ventricolo sinistro.
C. Atrio destro.
D. Atrio sinistro.
E. Miocardio.

5. Prima di essere pompato nel circuito sistemico, il sangue ossigenato in quale comparto cardiaco affluisce?

A. Ventricolo destro.
B. Ventricolo sinistro.
C. Atrio destro.
D. Atrio sinistro.
E. Miocardio.

6. Il sangue impoverito di ossigeno e nutrienti, in quale comparto cardiaco affluisce?

A. Ventricolo destro.
B. Ventricolo sinistro.
C. Atrio destro.
D. Atrio sinistro.
E. miocardio.

7. Prima di essere pompato in direzione dei polmoni per essere ossigenato, il sangue impoverito in quale comparto affluisce?

A. Ventricolo destro.
B. Ventricolo sinistro.
C. Atrio destro.
D. Atrio sinistro.
E. Miocardio.

8. Quale è il compito delle vene?

A. Trasportare sangue ossigenato dal cuore ai polmoni.
B. Trasportare sangue impoverito dai tessuti al cuore e dal cuore ai polmoni.
C. Effettuare scambi di gas e nutrienti nei tessuti.
D. Trasportare solo le sostanze nutritive ma non l'ossigeno.
E. Sono i vasi che costituiscono l'intero circuito polmonare.

9. In quale tipologia di vaso sanguigno possiamo riscontrare la maggiore pressione?

A. Arterie.
B. Capillari.
C. Vene.
D. Capillari polmonari.
E. Vene del circuito sistemico.

10. Qual è l'elemento costitutivo dell'emoglobina determinante per il trasporto di ossigeno?

A. Magnesio.
B. Selenio.
C. Sodio.
D. Fosforo.
E. Ferro.

Unità 3

Anatomia umana: l'apparato respiratorio

L'**apparato respiratorio** è l'insieme degli elementi anatomici che garantiscono lo scambio gassoso tra ambiente e organismo (fig. 3.1). Prevede una serie di strutture più o meno tubolari per il passaggio dell'aria, suddivise in genere in **vie aree superiori** e **inferiori**. Le prime comprendono il **naso** (o la bocca) e la **faringe**, elemento prevalentemente muscolare comune anche alla nutrizione. Da qui l'aria passa attraverso il primo elemento delle vie aeree inferiori, la **laringe**. La laringe è un organo piuttosto rigido, rinforzato da elementi cartilaginei e nel quale si trovano anche le **corde vocali**. La parte superiore è delimitata dall'**epiglottide**, una struttura anch'essa cartilaginea che ha la funzione di evitare che il cibo, dalla faringe, entri nella laringe e da lì nelle vie aeree, con il pericolo di ostruirle.

Sotto alla laringe si trova la **trachea**, un largo tubo rinforzato da anelli cartilaginei che si approfondisce nel torace e lì si ramifica nei **bronchi**, i quali sostengono i **polmoni**. I bronchi sono delle vere e proprie tubature semirigide, che si ramificano ampiamente all'interno dei polmoni fino a divenire dei piccolissimi tubicini detti **bronchioli**. Questi ultimi entrano negli **alveoli**, delle strutture molli a forma di piccolo sacco elastico che costituiscono gran parte dei polmoni e che si gonfiano d'aria durante l'inalazione. Gli alveoli sono completamente circondati da capillari intimamente a contatto con la loro parete, ed è in questa zona che avvengono gli scambi gassosi (per semplice diffusione attraverso le pareti dei vari tessuti) tra il sangue, che qui arriva povero di ossigeno, e l'aria. Una volta 'ricaricato' di ossigeno, il sangue può tornare al cuore e da lì essere pompato nel resto del corpo.

La respirazione è garantita da una serie di muscoli che allargano il torace e provocano il 'risucchio' necessario affinché l'aria possa venire introdotta all'interno delle vie aeree; un lavoro determinante in questo senso viene effettuato dal muscolo detto **diaframma,** situato nella parte bassa del torace.

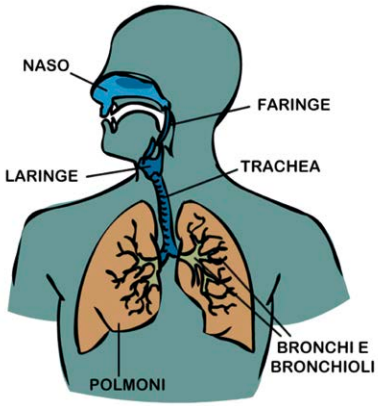

Figura 3.1 Schema dell'apparato respiratorio umano.

Esercizi Unità 3

1. Nell'apparato respiratorio umano, le vie aree vengono comunemente suddivise in:

A. destre e sinistre.
B. superiori e inferiori.
C. centrali e periferiche.
D. d'entrata e d'uscita.
E. attive e passive.

2. Quale di questi elementi dell'apparato respiratorio umano è in continuità con la trachea?

A. Naso.
B. Polmoni.
C. Alveoli.
D. Bronchi.
E. faringe.

3. Qual è la funzione dell'epiglottide?

A. Evitare che il cibo entri nella trachea.
B. Filtrare il particolato aereo prima che venga inalato.
C. Produrre l'ormone responsabile della sensazione di appetito.
D. Creare l'espansione polmonare utile alla respirazione.
E. Separare la bocca dal naso.

4. In quale organo si trovano le corde vocali nell'uomo?

A. Laringe.
B. Faringe.
C. Trachea.
D. Esofago.
E. Bocca.

5. In quale/i struttura/e avvengono gli scambi gassosi tra l'aria inspirata e il sangue nell'uomo?

A. Bronchi.
B. Bronchioli.
C. Trachea.
D. Laringe.
E. Alveoli.

6. Quale di questi muscoli è direttamente coinvolto nella respirazione umana?

A. Deltoide.
B. Muscolo liscio della peristalsi.
C. Addominale.
D. Diaframma toracico.
E. Soleo.

Unità 4

Anatomia umana: l'apparato digerente

L'**apparato digerente** è quell'insieme di organi che ha il compito di assimilare gli elementi nutritivi introdotti tramite il **cibo** (l'uomo, come tutti gli animali, è infatti un organismo **eterotrofo**) attraverso la **digestione**, cioè la trasformazione di sostanze complesse in sostanze più semplici, che andranno ad alimentare tutte le funzioni metaboliche delle cellule del corpo. Ad esempio, le proteine verranno scisse in semplici aminoacidi e gli zuccheri complessi 'demoliti' e ridotti a forme più semplici, come monosaccaridi o disaccaridi. Possono avvenire anche vere e proprie trasformazioni chimiche, come nel caso degli aminoacidi in eccesso che possono essere trasformati in zuccheri o grassi.

L'apparato digerente comprende diverse strutture anatomiche e organi: la **bocca**, l'**esofago**, lo **stomaco**, il **fegato**, il **pancreas** e l'**intestino**, ognuno di questi in genere suddiviso in varie sottostrutture (fig. 4.1). Vediamole un po' più nel dettaglio.

La bocca è una struttura molto complessa ed è come tutti sanno la porta d'ingresso del cibo e dell'acqua (oltre che dell'aria se il naso è costipato). Oltre ai **denti**, che sono gli strumenti meccanici che servono al taglio e alla triturazione del cibo, vi sono la **lingua**, importante strumento per la masticazione e la **fonazione** (voce) e dove risiedono molti dei recettori chimici che servono per il **gusto**, e le **ghiandole salivari**, le quali producono appunto la **saliva**, un composto fluido molto acquoso che comprende una parte di muco e una serie di proteine enzimatiche. È importante sapere che questa prima fase, ovvero la masticazione e l'impastamento del cibo triturato con la saliva, è una componente molto importante per la digestione, in quanto avvengono già le prime lisi enzimatiche (ad esempio l'amilasi presente nella saliva trasforma dei carboidrati complessi in zuccheri più semplici).

Dopo questa prima fase il cibo prende la forma di **bolo**, il quale grazie alla **deglutizione** (meccanismo che comprende una serie di contrazioni muscolari apposite e la chiusura della trachea tramite l'epiglottide) passa attraverso l'**esofago** (qui la spinta verso il basso avviene anche in maniera attiva tramite movimenti **peristaltici**, ovvero contrazioni muscolari in serie che permettono di ingoiare anche se non si è in posizione verticale) fino ad entrare, attraverso una valvola detta

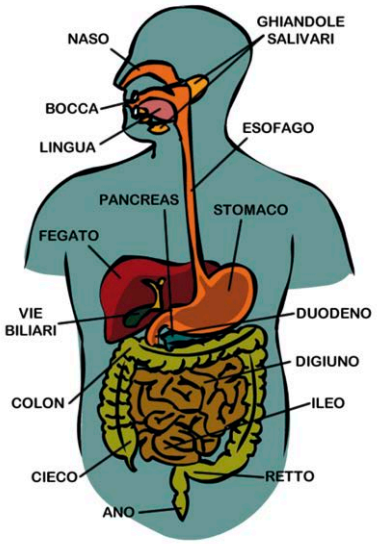

Figura 4.1 Schema dell'apparato digerente umano.

sfintere esofageo (la quale serve ad evitare che il materiale in digestione nello stomaco refluisca verso l'esofago) nello **stomaco**.

Lo stomaco è il sacco di raccolta e rimescolamento del cibo ingerito. È una struttura membranosa e muscolare molto elastica, che si espande (anche molto) dopo ogni pasto. Le sue cellule producono tutta una serie di composti, tra i quali molto importanti sono il **pepsinogeno**, l'**acido cloridrico** (HCl) e il **muco**. Il primo è una peptide di per sé inattivo, ma che viene attivato dalla presenza dell'acido cloridrico divenendo **pepsina**, un enzima in grado di digerire le proteine. Questa miscela acida di enzimi e HCl, detta comunemente **succo gastrico**, danneggerebbe la mucosa gastrica se non fosse per la presenza del muco, una sostanza che impedisce il contatto diretto dell'acido con le pareti dello stomaco e che presenta al suo interno una serie di sostanze inibitrici degli enzimi oltre a degli elementi tampone, che portano il pH della miscela gastrica (detta **chimo**) intorno ai valori di neutralità (circa pH = 7) nei pressi delle pareti.

Dallo stomaco, attraverso una seconda valvola posta nella parte bassa e detta **piloro**, il chimo ridotto a liquido viene lentamente introdotto nell'**intestino tenue,** una lunghissima struttura tubulare (circa 6 metri) aggomitolata su se stessa e nella quale avviene la maggior parte della digestione chimica. Le sue pareti interne sono fittamente pieghettate a formare delle piccole estroflessioni dette **villi**, le cui cellule superficiali presentano esse stesse delle pieghettature chiamate **microvilli** (fig. 4.2). Tutta questa particolare struttura serve a far sì che la superficie dell'intestino, deputata all'assorbimento dei prodotti della digestione, sia più estesa possibile. L'intestino tenue è suddiviso in tre parti principali: il **duodeno**, la parte iniziale dove si completa la digestione chimica, il **digiuno** e l'**ileo**, nei quali avviene il quasi totale assorbimento del materiale utile digerito.

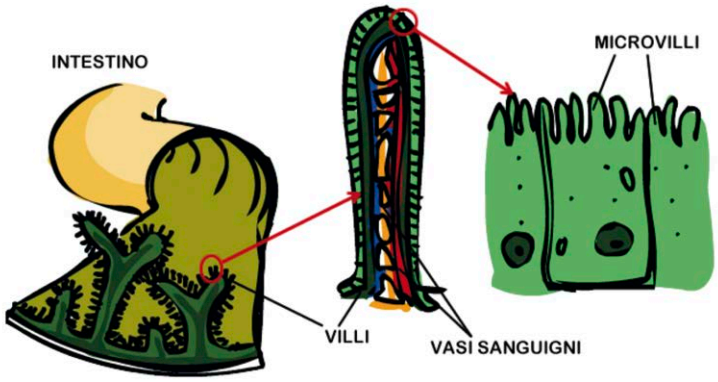

Figura 4.2 Schema del sistema dei villi e dei microvilli all'interno dell'intestino.

La digestione completa avviene soprattutto grazie a organi esterni all'intestino, il **fegato** e il **pancreas**, i quali forniscono moltissimi composti ed enzimi che servono a demolire gran parte delle numerose sostanze normalmente presenti nel cibo. Il fegato è un grande organo posizionato nella parte destra dell'addome. È suddiviso in **lobi**, i quali a loro volta sono suddivisi in **lobuli** disposti intorno ad una grossa vena centrale; presenta inoltre un piccolo sacco nella parte inferiore detto **colecisti** (o **cistifellea**). Ha molti compiti, anche a livello generale metabolico per tutto l'organismo (come quella di distruggere gli eritrociti vecchi e inutilizzati). Durante la fase digestiva, il fegato produce la **bile**, una sostanza priva di enzimi ma utile ad emulsionare i

grassi del chimo, aiutandone l'assimilazione. La bile prodotta passa attraverso i cosiddetti **dotti biliari**, i quali si uniscono poi nel **dotto epatico** e infine nel **dotto biliare comune**, che finisce nel duodeno insieme al **dotto pancreatico**, proveniente dal pancreas. Il fegato ha anche il compito di 'smistare' i vari prodotti della digestione in circolo in base alle esigenze, nel caso anche trasformandoli in composti diversi. Le lipoproteine contenenti colesterolo, ad esempio, vengono sintetizzate nel fegato. Il pancreas invece è una grossa ghiandola posta sotto lo stomaco, la quale immette nel duodeno tramite il dotto pancreatico una miscela acquosa di enzimi (come ad esempio la **tripsina**, immessa come tripsinogeno e poi attivata nel duodeno) e ioni carbonato (HCO_3^-), utile sia per la digestione che per neutralizzare l'acidità del chimo. Una volta che le sostanze sono state più o meno digerite, le parti utili vengono prese e assorbite dai villi, i quali anch'essi contribuiscono producendo una serie di enzimi litici come alcune peptidasi.

Il materiale rimanente viene spinto dall'ileo nell'**intestino crasso**, il quale è privo di villi e suddiviso in tre parti: il **cieco** (parte terminale che comprende l'**appendice**), il **colon** e il **retto**. Nel colon avvengono le ultime demolizioni delle sostanze nutrienti ancora presenti e non assorbite dall'intestino tenue grazie all'azione dei batteri che sono presenti al suo interno. Fatto questo, l'ultima azione necessaria è quella di recuperare i sali e parte dell'acqua ancora presenti, azione eseguita sempre a livello del colon, il quale poi sposta quelle che ormai sono divenute le **feci** prive di sostanze utili verso il **retto**, per poi essere espulse attraverso l'**ano**.

Esercizi Unità 4

1. Quali di questi organi non è direttamente coinvolto nel processo di alimentazione e digestione nell'uomo?

A. Esofago.
B. Lingua.
C. Duodeno.
D. Trachea.
E. Pancreas.

2. Il pepsinogeno, l'acido cloridrico e il muco sono tre sostanze prodotte da quale organo:

A. il fegato.
B. lo stomaco.
C. il pancreas.
D. il duodeno.
E. il colon.

3. Cosa è il piloro?

A. Il dotto che trasporta la bile dal fegato al duodeno.
B. La struttura posta sulla sommità della laringe che impedisce che il cibo invada la trachea.
C. Una ghiandola pancreatica.
D. La parte terminale del retto.
E. La valvola che separa lo stomaco dall'intestino tenue.

4. Qual è la principale funzione dei villi e dei microvilli intestinali?

A. Spostare più efficacemente il materiale digerito verso il retto.
B. Aumentare la superficie assorbente dell'intestino tenue.
C. Permettere la piegatura su sé stesso dell'intestino.
D. Impedire al dotto intestinale di collassare.
E. Produrre gli impulsi per la peristalsi.

5. Qual è la sostanza prodotta dal fegato la cui principale funzione è quella di emulsionare i grassi durante la digestione?

A. Lipasi.
B. Bile.
C. Pepsina.
D. Chimo.
E. Tripsina.

6. Il duodeno è una parte costituente di quale organo?

A. Intestino.
B. Colon.
C. Pancreas.
D. Fegato.
E. Stomaco.

7. Il 'cieco' è una parte costituente di quale organo?

A. Cistifellea.
B. Pancreas.
C. Intestino tenue.
D. Intestino crasso.
E. Stomaco.

Unità 5

Anatomia umana: il sistema nervoso

Il **sistema nervoso** è il vero pilota delle nostre azioni. Il suo compito è quello di raccogliere dati dall'esterno e dall'interno del corpo e di elaborarli, coordinando la risposta a tutti gli stimoli a cui veniamo sottoposti in maniera ottimale per la nostra sopravvivenza. La caratteristica principale di questo sistema è la rapidità con cui tutto ciò avviene. Esistono altri 'messaggeri' all'interno del nostro corpo, come gli **ormoni**, sostanze che vengono prodotte e immesse in circolo a seguito di particolari stimoli per provocare una risposta, i quali però non potranno mai essere rapidi come un segnale trasmesso tramite il sistema nervoso.

Il sistema nervoso si divide normalmente in due parti: il **sistema nervoso centrale** (SNC), che comprende l'encefalo e il midollo spinale (dove risiedono i grandi fasci di nervi che raggiungono tutto il corpo) e che ha compiti di elaborazione e gestione degli stimoli, e il **sistema nervoso periferico**, il quale mette a contatto il sistema nervoso centrale con gli organi effettori. Si possono inoltre individuare tre diversi comparti funzionali: i **recettori**, strutture che ricevono gli stimoli, un **centro analitico**, dove il segnale viene elaborato e dove viene prodotta la risposta più giusta, e una serie di **organi esecutori o effettori**, come le ghiandole o i muscoli, i quali eseguono 'l'ordine' che proviene dai centri di elaborazione.

Gli strumenti con cui vengono attuati i meccanismi di comunicazione del sistema nervoso sono i **neuroni** (fig. 5.1), particolari cellule che hanno la possibilità di **eccitarsi** generando quello che viene definito **potenziale d'azione**, ovvero una breve inversione di potenziale elettrico ionico della membrana cellulare (una sorta di impulso) che si trasmette fino alle periferie del corpo. Esiste infatti una parte fondamentale della cellula neuronale, detta **assone**, che è una sorta di lunghissima protrusione a forma di microtubulo che nell'uomo può essere lunga fino a oltre un metro. Le altre parti che compongono generalmente un neurone sono il **corpo cellulare** (detto anche **soma**), contenente il nucleo, e i **dendriti**, complesse ramificazioni della membrana a forma di rami d'albero.

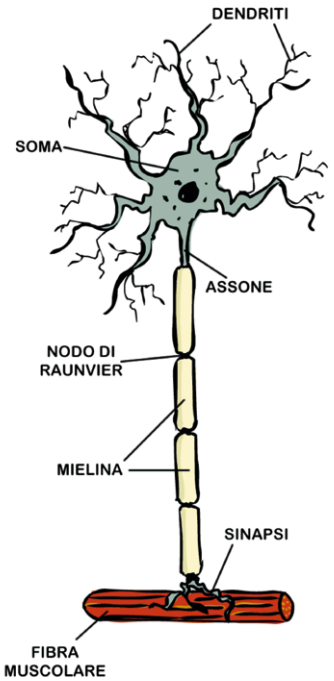

Figura 5.1 Schema di un motoneurone.

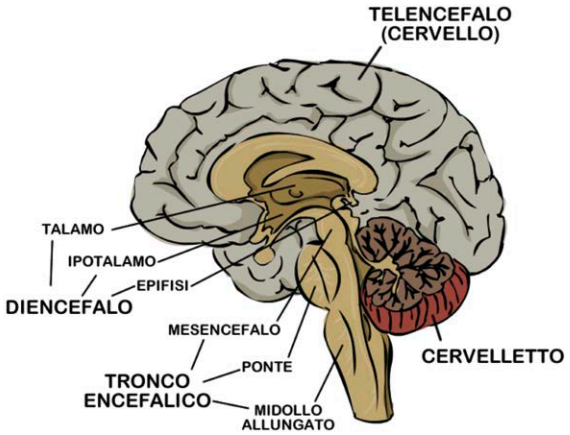

Figura 5.2 Schema di un encefalo umano.

Quando un recettore, ad esempio sensoriale come una cellula della retina dell'occhio, riceve uno stimolo, per esempio un lampo di luce, questo la trasmette ai dendriti di uno o più neuroni tramite un messaggio di tipo elettrochimico. In sostanza, grazie al passaggio attraverso proteine di membrana (dette **canali ionici**) di ioni all'interno della cellula neuronale, si crea una cosiddetta **inversione di potenziale** elettrico tra l'interno e l'esterno della membrana cellulare rispetto al **potenziale di riposo**, cioè il potenziale di membrana presente in assenza di stimoli. Grazie all'assone, il potenziale d'azione si propaga elettricamente lungo la membrana e viaggia a grande velocità verso i centri di elaborazione dello stimolo. Sui neuroni è presente una sostanza, detta **mielina**, la quale crea come una sorta di guaina intorno all'assone, non continua ma interrotta di tanto in tanto da dei nodi (detti **nodi di Ranvier**), che permette quella che viene anche detta **conduzione saltatoria** o **'a salti'**; il potenziale d'azione viene trasmesso lungo la membrana da nodo a nodo della guaina mielinica senza dover percorrere tutto l'assone, aumentando di molto la velocità di trasmissione del segnale.

La risposta elaborata viene poi rispedita agli organi esecutori, ad esempio un muscolo, il quale tramite delle giunzioni dette **sinapsi** riceve il segnale proveniente dalle terminazioni dell'assone ed esegue l'ordine, ad esempio contraendosi. Quelli che comunemente vengono chiamati **nervi** sono fasci di assoni, i quali si integrano e si 'smistano' nei cosiddetti **gangli**.

Il 'grande capo' del sistema nervoso è però l'**encefalo** (fig. 5.2). È qui che gran parte degli stimoli provenienti dal corpo vengono elaborati e dove vengono prese le decisioni su che tipo di risposta produrre. L'encefalo è sistemato nel cranio e si occupa sia di elaborare le risposte volontarie (ovvero quelle per le quali l'individuo ha capacità di decisione, come ognuna delle nostre comuni attività quotidiane) che quelle involontarie (ad esempio le contrazioni peristaltiche dell'intestino, sulle quali non possiamo agire in maniera cosciente). Ha un aspetto in parte grigio (dovuto alla parte del corpo cellulare dei neuroni) e in parte bianco (dovuto gli assoni, bianchi per la presenza di mielina) e viene suddiviso in generale in 4 parti: **telencefalo** (o **cervello**), **diencefalo**, **tronco encefalico** e **cervelletto**, ognuna con specializzazioni proprie. L'immagine del cervello (il telencefalo) con due emisferi e ricco di circonvoluzioni è nota a tutti. Questa parte, oltre ad essere il principale centro dell'intelligenza in senso ampio, dirige molte delle funzionalità del corpo umano, dalla regolazione dei movimenti grazie a dei nuclei basali fino ai fabbisogni fisiologici regolati dal cosiddetto **sistema limbico**. Altre componenti sono ad esempio l'**amigdala**, che coordina le sensazioni di paura, o l'**ippocampo**, a cui è demandata la gestione della memoria.

Il diencefalo comprende tre centri importanti, il **talamo**, che ha la funzione di interfaccia con il cervello e di 'miglioramento del segnale' nervoso da eventuali disturbi, l'**ipotalamo**, che regola molte funzioni ormonali e l'omeostasi (temperatura corporea costante) e l'**epifisi**, ghiandola per la regolazione dei periodi di attività giornalieri grazie alla produzione di melatonina.

Il tronco encefalico comprende un **mesencefalo**, determinante per la regolazione dei movimenti, il **ponte**, un fascio connettore di nervi, e il **midollo allungato**, il quale tra le altre cose raccoglie le vie sensoriali e regola sia i ritmi cardiaci che la respirazione.

Infine il cervelletto, che è di fatto il dirigente che coordina i comandi motori provenienti dal cervello in maniera da renderli efficaci correggendo, in maniera del tutto involontaria per l'individuo, gli eventuali errori o imprecisioni nel segnale.

Ma come comunicano i neuroni tra loro e con gli organi effettori? Come accennato lo fanno tramite le **sinapsi**, ovvero le giunzioni tra le terminazioni assoniche e gli organi, in genere ghiandole o fibre muscolari (in quest'ultimo caso si parla comunemente di **giunzioni neuromuscolari**). Possono essere di due grandi categorie, **sinapsi chimiche**, nelle quali il segnale viene passato tramite un 'messaggero' chimico, e **sinapsi elettriche**, nelle quali è direttamente il potenziale d'azione ad essere trasmesso alla cellula bersaglio. Nel primo caso la terminazione assonica all'arrivo dello stimolo elettrico emette, tramite delle vescicole, un cosiddetto **neurotrasmettitore**, una sostanza chimica che viene recepita dalla cellula bersaglio la quale in risposta apre dei canali ionici variando così il suo stesso potenziale di membrana (il neurotrasmettitore più comune in tutti i vertebrati è l'**acetilcolina**, abbreviato spesso in ACh).

Esercizi Unità 5

1. In fisiologia animale, cosa è un 'potenziale d'azione'?

A. Il rilascio di neurotrasmettitore nelle sinapsi motorie.
B. La forza sviluppata durante la contrazione muscolare.
C. La quantità massima di interconnessioni neuronali nell'encefalo.
D. Una breve variazione di potenziale trasmessa lungo la membrana di un neurone.
E. La quantità di impulsi motori cerebrali che avviene in un secondo.

2. In fisiologia animale, cosa è un 'assone'?

A. Un insieme di fasci nervosi sub-encefalici.
B. Un tipo di giunzione neurone-ghiandola effettrice.
C. La parte di trasmissione del segnale in un neurone.
D. Un'area del mesencefalo deputata al movimento.
E. Una componente del sistema nervoso autonomo.

3. L'amigdala è una componente di quale struttura encefalica?

A. Cervelletto.
B. Mesencefalo.
C. Ipotalamo.
D. Ponte.
E. Telencefalo.

4. L'ippocampo è un componente di quale struttura encefalica?

A. Telencefalo.
B. Diencefalo.
C. Talamo.
D. Midollo allungato.
E. Cervelletto.

5. L'epifisi è una componente di quale struttura encefalica?

A. Ippocampo.
B. Midollo allungato.
C. Diencefalo.
D. Mesencefalo.
E. Telencefalo.

6. Il mesencefalo, il ponte e il midollo allungato sono le componenti di quale parte dell'encefalo?

A. Telencefalo.
B. Diencefalo.
C. Cervelletto.
D. Ipotalamo.
E. Tronco encefalico.

7. Qual è il principale compito del cervelletto?

A. Regolare l'attività sonno/veglia.
B. Formare l'immagine visiva proveniente dai recettori retinici degli occhi.
C. È il centro deputato all'intelligenza cognitiva.
D. Regola le sensazioni di fame e stanchezza.
E. Coordina i segnali neuromotori.

8. In fisiologia, cosa è una 'giunzione neuromuscolare'?

A. Una sinapsi tra un motoneurone e una fibra muscolare.
B. La connessione tra cellule fibrose muscolari.
C. La connessione che si sviluppa tra i dendriti dei motoneuroni.
D. Una sinapsi tra un motoneurone e una ghiandola encefalica.
E. Le giunzioni occludenti tra i corpi cellulari dei motoneuroni.

Unità 6

Anatomia umana: apparati muscolare e scheletrico

I **muscoli** e le **ossa** sono ciò che trasforma in azioni concrete i comandi provenienti dal sistema nervoso centrale, permettendoci di interagire con l'ambiente e utilizzare e manipolare gli oggetti con cui abbiamo a che fare quotidianamente. I due sistemi, scheletrico e muscolare, sono spesso in stretta relazione l'uno con l'altro, con il primo che garantisce il movimento delle parti strutturali del corpo e il secondo che ne mantiene la stabilità.

I muscoli sono generalmente di tre tipi: **striato**, **liscio** e **cardiaco**. Del primo tipo sono formati i muscoli più direttamente a contatto con lo scheletro, i **muscoli scheletrici**, che si legano alle ossa tramite i **tendini** (attraverso giunzioni dette **miotendinee**). Tutti i tipi di muscoli sono accomunati dalla possibilità di **contrarsi**, ovvero accorciare la propria lunghezza generando così una forza traente. Le cellule dei muscoli scheletrici sono normalmente molto allungate e vengono comunemente dette **fibre muscolari**; presentano, oltre a delle modificazioni strutturali specializzate della membrana e del citoplasma (in questo contesto chiamati rispettivamente **sarcolemma** e **sarcoplasma**), delle lunghe strutture proteiche fibrose, dette **miofibrille**, lungo tutto il corpo cellulare. Sono formati da fasci di due diverse proteine, l'**actina** e la **miosina**, entrambe filamentose, con le prime più sottili delle seconde. All'interno della fibra muscolare questi filamenti sono parzialmente sovrapposti e intercalati l'uno con l'altro, con la miosina che presenta una parte globulare (detta anche **testa**) piegata verso l'esterno e diretta verso i filamenti di actina; questa disposizione ordinata va a formare l'unità contrattile del muscolo scheletrico che viene detta **sarcomero** (fig. 6.1).

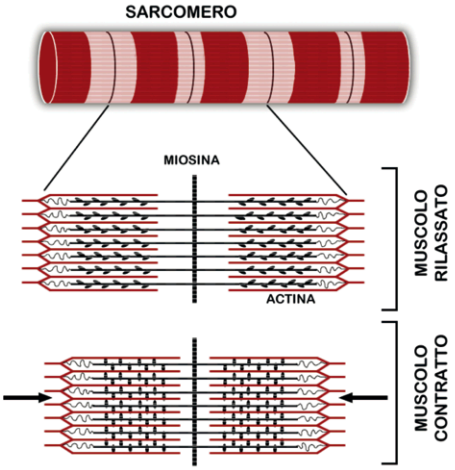

Figura 6.1 Schema di un sarcomero in una miofibrilla muscolare.

Quando arriva uno stimolo nervoso tramite la sinapsi neuromuscolare, il potenziale d'azione arriva al centro della cellula grazie a delle strutture tubulari (dette **tubuli T**) e libera ioni Ca^{2+}. Questi vanno a legarsi ad una proteina, la **troponina**, presente anch'essa all'interno della fibra muscolare e strettamente legata ad un'altra proteina, la **tropomiosina**, le quali 'coprono' i siti di attacco tra actina e miosina impedendo che si leghino. Grazie allo ione Ca^{2+}, la troponina subisce una modifica strutturale e con essa anche la tropomiosina; questa variazione fa sì che le teste della miosina possano venire a contatto con i siti di attacco dell'actina. Una volta unite le due proteine, si ha la modificazione delle stesse molecole di miosina le quali si piegano, funzionando come milioni di minuscole braccia che attirano il filamento di actina facendolo scorrere verso l'interno (fig. 6.2). La dimensione dell'intero sarcomero viene così a ridursi, seppur di pochi nanometri. I muscoli scheletrici sono però formati da milioni di fibre muscolari le quali sono esse stesse formate da moltissimi sarcomeri in serie, per cui le pur piccole contrazioni dei sarcomeri si sommano tra loro, e la contrazione dell'intero muscolo può quindi essere anche decisamente ampia.

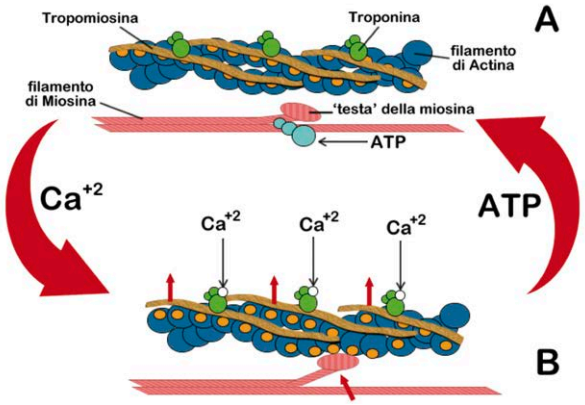

Figura 6.2 Schema del funzionamento del sistema actina/miosina nei muscoli. A) muscolo rilassato; B) muscolo contratto.

Perché il muscolo si rilassi è necessario che questi legami tra miosina e actina si sciolgano, e questo avviene grazie all'utilizzo di energia trasportata dall'**ATP** (la mancata produzione di ATP fa irrigidire i muscoli, ed è ciò che succede nelle prime fasi dopo la morte in cui avviene il cosiddetto *rigor mortis*).

I **muscoli lisci** presentano delle differenze basilari rispetto agli striati. Innanzitutto sono generalmente deputati al movimento di contrazione degli organi interni, come l'intestino e lo stomaco, non sono pilotati in maniera cosciente dal sistema nervoso centrale e non hanno contatti diretti con lo scheletro. Le loro miofibrille non sono ordinate come nello striato, ma spesso rivestono gli organi organizzandosi in **guaine**, le quali presentano caratteristiche utili per il funzionamento in autonomia come la possibilità di 'reagire' alle tensioni da estensione contraendosi (ad esempio come nel caso del passaggio del bolo attraverso l'esofago), permettendo così un movimento coordinato e unidirezionale. Un sistema simile e altrettanto coordinato avviene per i muscoli intestinali deputati alla peristalsi.

L'ultimo tipo di muscolo è il **muscolo cardiaco**, o **miocardio**, del quale è composto gran parte del cuore. Presenta di fatto caratteristiche simili ad entrambe le precedenti categorie, in quanto è un muscolo striato ma il suo funzionamento è del tutto involontario. La funzione della contrazione del muscolo cardiaco è quella di ridurre le camere interne del cuore spingendo il sangue a pressione lungo i sistemi circolatori. Le cellule del muscolo cardiaco sono altamente coordinate

tra loro, grazie anche a delle particolari giunzioni dette **dischi intercalari**; le contrazioni non sono dovute a stimoli nervosi, ma a segnali provenienti da una serie di cellule apposite che regolano il ritmo dei battiti dette **cellule pacemaker**. Il sistema nervoso interviene quando la frequenza dei battiti ha necessità di variare, ad esempio dopo uno sforzo quando i battiti vengono aumentati come risposta alla necessità di un maggior apporto di ossigeno (e quindi di sangue) verso i muscoli.

Lo **scheletro** è la colonna portante del nostro corpo, il sostegno che ci permette di fare in modo che i muscoli abbiano una leva rigida sulla quale trasferire il movimento. Protegge anche i nostri organi interni e li accoglie in maniera che la loro posizione sia quella ottimale. Se però immaginiamo le ossa come composte di materiale morto ci sbagliamo di grosso. Le ossa sono formate da un tessuto spugnoso, formato da particolari cellule (**osteociti**), una matrice proteica e una calcificata, rigida, ricca di minerali di calcio. Le ossa del corpo umano (così come quelle di tutti i vertebrati) sono molto numerose, oltre 200 (206 nell'uomo adulto), ognuna con forme e funzionalità diverse. Possono essere raccolte in quattro categorie: **ossa lunghe** (in genere quelle degli arti), **ossa corte** (ad esempio del polso e della caviglia), **ossa piatte** (cranio, coste e sterno) e **ossa irregolari** (ad esempio le vertebre).

Le ossa si accrescono, partendo dalla condizione fetale, grazie a delle cellule dette **osteoblasti**, che vanno mano a mano a ricoprire le prime ossa che nel feto sono costituite da **cartilagine**, un altro tessuto connettivo non calcificato, fino alla formazione dell'osso. Alla nascita del bambino quasi tutto lo scheletro è già calcificato tranne che in due regioni, le **cartilagini articolari**, che persisteranno nell'adulto, e le **piastre epifisarie**, una regione dalla quale si continuerà a formare nuovo tessuto cartilagineo che verrà successivamente tramutato in osso alla completa crescita dell'individuo. Nell'adulto le piastre epifisarie si chiudono e calcificano (si riconosce nell'osso adulto la **linea epifisaria** nel punto in cui la piastra era attiva), non producendo più tessuto (ad una mancata chiusura delle piastre epifisarie è dovuta la patologia detta 'gigantismo').

L'interno di molte ossa è cavo e riempito di una sostanza spugnosa detta **midollo osseo**. Questa regione è estremamente importante, perché è in questa sede che vengono prodotte le principali cellule ematiche come i globuli rossi, i globuli bianchi e le piastrine (fig. 6.3).

Lo scheletro come detto è formato da tantissime ossa più o meno interconnesse tra loro tramite le articolazioni, dei veri e propri 'snodi' tra ossa diverse che permettono che il corpo non sia un elemento statico ma che abbia un'ampia possibilità di movimento.

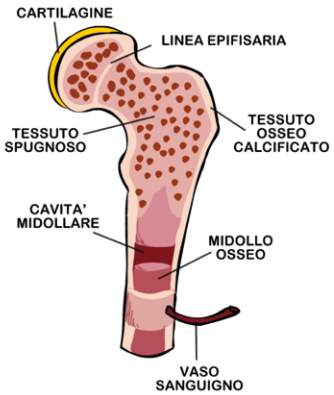

Figura 6.3 Schema in sezione di un osso lungo.

Le articolazioni possono essere di vario tipo, permettendo movimenti rotatori, di torsione o incardinati in base alla diversa funzionalità della regione scheletrica. In generale, sia per garantire

che le ossa siano funzionalmente in relazione tra loro che per evitare che siano a stretto contatto evitando il forte attrito che esisterebbe tra due tessuti calcificati e rigidi, nelle articolazioni esiste una serie di strutture cartilaginee più morbide ed elastiche, come le cosiddette **capsule articolari** o i più noti **legamenti**, che determinano la buona funzionalità dell'articolazione e il suo mantenimento nel tempo.

Esercizi Unità 6

1. In generale, di quale tipo sono i muscoli scheletrici?

A. Lisci.
B. Rugosi.
C. Miocardici.
D. Striati.
E. Corti.

2. Di quale tipo sono i muscoli che controllano la peristalsi intestinale?

A. Lisci.
B. Rugosi.
C. Miocardici.
D. Striati.
E. Corti.

3. Quali sono le due principali componenti proteiche delle miofibrille muscolari?

A. Tripsina e glicogeno.
B. Adenina e guanina.
C. Cisteina e pepsina.
D. Actina e miosina.
E. Lipasi e mielina.

4. Il sarcomero è:

A. l'unità contrattile delle miofibrille del muscolo striato.
B. il gruppo di fasci nervosi che attraversano la colonna vertebrale.
C. la giunzione cartilaginea tra il muscolo e l'osso.
D. la parte più mobile delle articolazioni.
E. il tessuto di accrescimento dell'osso.

5. Qual è lo ione che, legandosi alla troponina, permette la contrazione del muscolo striato?

A. Fe^{2+}
B. Na^{+}
C. Cl^{-}
D. Mg^{2+}
E. Ca^{+2}

6. Che cosa regola la contrazione ritmica del muscolo cardiaco?

A. Il telencefalo.
B. La peristalsi.
C. I neuroni del sistema limbico.
D. Il midollo osseo.
E. Le cellule pacemaker.

7. Quante sono le ossa nell'uomo adulto?

A. 98
B. 116
C. 206
D. 301
E. 388

8. Le ossa del cranio a quale tipologia appartengono?

A. Ossa lunghe.
B. Ossa piatte.
C. Ossa corte.
D. Ossa irregolari.
E. Ossa cartilaginee.

9. La piastra epifisaria è:

A. la struttura di accrescimento delle ossa.
B. la sinapsi neuromotoria tra il cervelletto e un muscolo motorio.
C. un menisco articolare.
D. il tessuto connettivo fetale che diventerà cartilagine nell'adulto.
E. un osso del cranio, cartilagineo durante le fasi giovanili.

10. In quale parte del corpo vengono prodotte le principali cellule ematiche come i globuli rossi, i globuli bianchi e le piastrine?

A. Nell'ipotalamo.
B. Nel fegato.
C. Nel pancreas.
D. Nel midollo osseo.
E. Nei reni.

Unità 7

Anatomia generale delle piante vascolari

Le piante terrestri più numerose sono le cosiddette **tracheofite**, o piante vascolari, che comprendono, oltre alle **felci** (piante con tratti ancora piuttosto primitivi), due grandi gruppi, le **gimnosperme** e le **angiosperme**.

Prendiamo a modello le angiosperme terrestri (fig. 7.1), che sono di fatto le piante più diffuse e con le quali abbiamo più facilmente a che fare. La loro struttura generale è primariamente suddivisa in due parti, che si differenziano già all'interno del seme e nelle primissime fasi della germinazione: una parte aerea e una parte (generalmente ma non necessariamente) sotterranea. Entrambe sono costituite da tessuti riconducibili a tre tipologie: il **tessuto di rivestimento**, il **tessuto meccanico** e il **tessuto vascolare**.

Il primo è principalmente costituito da un'**epidermide** che racchiude tutte le parti della pianta; l'epidermide è in genere impermeabile o scarsamente permeabile, anche grazie alla produzione di una particolare sostanza cerosa (**cutina**) che limita la perdita d'acqua dovuta all'evaporazione.

Il tessuto meccanico è di varia natura e svolge prevalentemente il compito di sostenere fisicamente la pianta e tutte le sue parti, ma comprende anche numerose cellule dove avviene la fotosintesi e dove vengono prodotti una serie di ormoni.

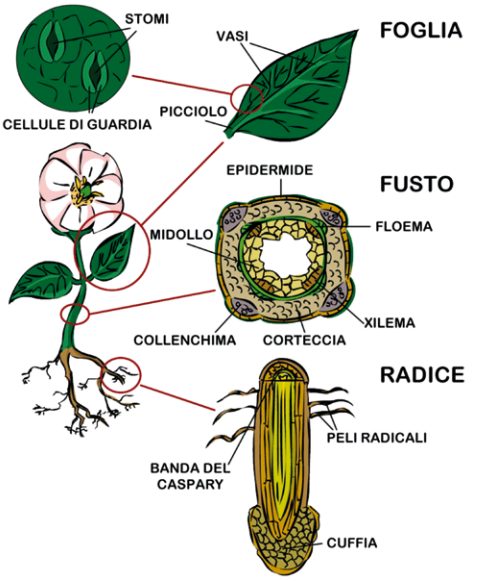

Figura 7.1 Schema dell'anatomia di una generica angiosperma.

Vi si riconoscono tre principali diverse tipologie di tessuto: il **parenchima**, più abbondante e ricco di sostanze di riserva e di cellule fotosintetiche, il **collenchima**, tessuto di sostegno con cellule dalle pareti ispessite ma molto elastiche e lo **sclerenchima**, formato da cellule con parete notevolmente ispessita e piuttosto rigida rinforzata da una sostanza detta **lignina**; allo sclerenchima è demandata la maggior parte dello sforzo di sostegno della pianta.

Il tessuto vascolare, infine, è quello che include tutti i vasi trasportatori. I vasi vengono generalmente compresi in due diversi tipi di tessuto: lo **xilema** (o **legno**), che comprende tutti i vasi trasportatori (detti **trachee** e **tracheidi** in base alla dimensione) di **linfa grezza** (acqua e nutrienti), e il **floema** (o **cribro** o **libro**), che trasporta la cosiddetta **linfa elaborata**, ovvero acqua con disciolti ormoni, zuccheri e aminoacidi, grazie a particolari vasi detti **tubi cribrosi**.

La parte sotterranea di una pianta terrestre è principalmente formata dalle **radici**, o **apparato radicale**, le quali non solo ancorano la pianta al terreno, ma assorbono nutrienti, immagazzinano sostanze di riserva al loro interno (soprattutto zuccheri), trasportano l'acqua e le sostanze disciolte verso le regioni apicali della pianta e sono anche in grado di produrre una serie di ormoni. Durante la germinazione, la radice primaria si approfondisce nel terreno, accrescendosi grazie al **meristema** (il tessuto vegetale che produce nuove cellule) nella sua zona apicale. Esistono più modi per le radici di accrescersi. I più comuni sono le **radici a fittone**, formate da un grande asse centrale dal quale si dipartono poi delle ramificazioni più piccole (un esempio piuttosto evidente è la carota), le **radici fascicolate**, nelle quali non esiste un asse centrale ma sono presenti una serie di ramificazioni principali circa della stessa dimensione, e le **radici tuberose**, che comprendono grandi ingrossamenti che funzionano da importanti riserve energetiche (ad esempio le patate).

Sempre nella parte apicale delle radici, oltre al meristema, è presente una struttura particolare detta **cuffia**, formata da una serie di cellule alcune delle quali ricche di sostanze mucose che aiutano la penetrazione nel terreno. Subito dietro al meristema c'è un complesso di peli, detti appunto **peli radicali,** che si formano e muoiono con l'accrescimento della radice; il loro compito è quello di aumentare la superficie assorbente.

Verso l'interno della radice, prima del **cilindro centrale** nel quale passano i vasi, vi è un tessuto, l'**endoderma**, le cui cellule sono legate tra loro da una sostanza cerosa e impermeabile, formando la cosiddetta **Banda del Caspary**, dal nome dello scopritore (1865). Questo tessuto ha un'importanza notevole per la pianta, in quanto ha il compito di filtrare i nutrienti che vengono assorbiti dal terreno e di selezionarli in base alla loro utilità.

La parte aerea è invece strutturata in più parti: il **fusto**, le **foglie** e gli **apparati riproduttori**. Il fusto ha la funzione non solo di mantenere eretta la pianta, ma anche di condotta per il fascio di vasi che lo attraversano e che raggiungono tutte le parti della pianta. Presenta anch'esso, come le radici, un meristema apicale tramite il quale la pianta si accresce e le cui cellule si differenziano durante le varie fasi della crescita nei diversi apparati (foglie, fiori, ecc.). Piccoli gruppi di cellule vengono lasciate sul fusto in determinate zone dette **nodi**, dalle quali si formeranno le **bozze fogliari** e di seguito le foglie (in certi casi, anche i rami laterali). Il fusto presenta in generale quattro tipi di tessuto: dall'esterno verso l'interno l'**epidermide**, la **corteccia**, i **tessuti conduttori** e il **midollo**. Come detto l'epidermide è la parte esposta della pianta ed è quella che deve proteggere le delicate strutture interne; per evitare che sostanze esterne penetrino nel corpo della pianta o che l'acqua evapori attraverso il tessuto, di norma l'epidermide è ricoperta da uno strato di cutina, la quale però impedisce anche i necessari scambi gassosi della pianta con l'esterno. Per ovviare a questo, l'epidermide è cosparsa di aperture, regolabili chimicamente dalla pianta (tramite una coppia di cellule a forma di palloncini allungati, le **cellule di guardia**), dette **stomi**, presenti sia sul fusto che sulle foglie. La corteccia e il midollo hanno funzioni simili, soprattutto di riserva e di soste-

gno, ma anche fotosintetiche. Le note **fibre** sono cellule presenti in questi tessuti, e presentano una parete ispessita il cui compito è di dare sostegno alla pianta.

Oltre al tessuto vascolare **primario**, ovvero quello prodotto dal meristema apicale, nelle piante arboree è presente anche un secondo tipo di tessuto vascolare, quello **secondario** (fig. 7.2). Viene prodotto da una zona, detta **cambio cribro-legnoso**, situata tra lo **xilema secondario**, che si accresce verso l'interno del fusto, e il **floema secondario**, che si accresce verso l'esterno. Questa nuova formazione di tessuto fa in modo che la pianta, oltre che verticalmente, si accresca anche diametralmente, aggiungendo nuovi strati al fusto. La parte più interna del tronco si sviluppa intorno ad un piccolo **midollo**, e diverrà nel tempo inefficiente per il trasporto della linfa; le pareti delle cellule morte lignificheranno e produrranno sostanze protettive antibatteriche come i tannini, andando a costituire una parte strutturalmente molto utile per sorreggere il peso della pianta detta **durame** o **duramen**. La parte dello xilema invece ancora funzionante che circonda il durame (la più giovane) viene detta **alburno**.

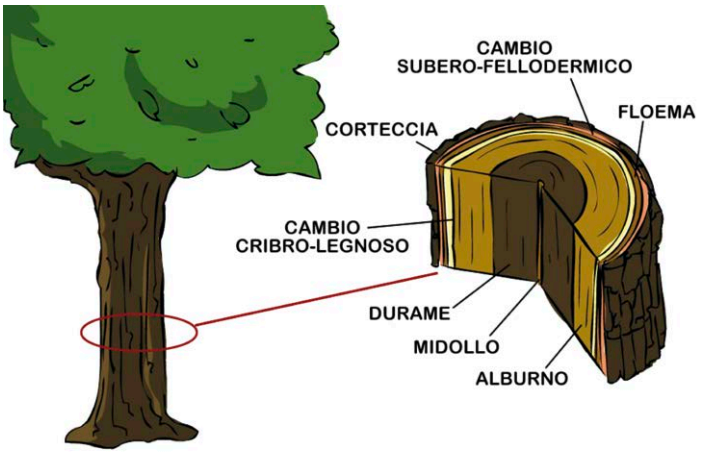

Figura 7.2 Schema dell'anatomia interna del fusto di una angiosperma arborea.

Ancora più esternamente dei tessuti vascolari, vi è un ulteriore strato di cellule meristematiche, di norma attivato da una serie di messaggi ormonali, il **cambio subero-fellodermico**. Questo tessuto ha il compito di formare quella che viene chiamata la **corteccia** dell'albero (di cui la parte più esterna viene detta **scorza** e quella più interna **felloderma**), cioè quello strato impermeabile più o meno elastico formato principalmente da una sostanza, la **suberina**, che serve a dare protezione a tutto il corpo della pianta. Il sughero che usiamo per chiudere le bottiglie viene ricavato dalla spessa scorza di alcune querce, dette appunto 'sughere' (*Quercus suber*).

La foglia, elemento molto importante per la pianta perché è il centro dove maggiormente avvengono le reazioni di fotosintesi e di scambi gassosi, è formata generalmente da una parte **laminare** (anche se la forma di una foglia può variare moltissimo da specie a specie) e da un **picciolo**. Quest'ultimo serve da connessione tra la foglia e il fusto, e al suo interno scorrono i vasi linfatici. Il singolo fascio di vasi del picciolo si ramifica poi nella parte laminare della foglia, formando le **nervature**, che vanno a trasportare le sostanze linfatiche utili per la fotosintesi in tutte le cellule della foglia, in particolare a quelle del **mesofillo**, la parte appena sotto l'epidermide ricca di cloroplasti. Come detto, anche sulla foglia sono presenti gli stomi, aperture regolabili che permettono gli scambi gassosi, soprattutto l'emissione di ossigeno e l'ingresso di CO_2.

Esercizi Unità 7

1. Qual è la principale funzione della cutina in una pianta?

A. È l'ormone della crescita delle foglie.
B. È un enzima che filtra le sostanze nutritive all'interno dell'apparato radicale.
C. È una sostanza cerosa che dà impermeabilità e protezione a fusto e foglie.
D. Garantisce la colorazione di fiori e frutti.
E. È il tessuto maggiormente fotosintetizzante.

2. In una generica tracheofita, quale è la funzione dello xilema?

A. Trasportare la linfa grezza.
B. Sostenere il calice fiorale.
C. Garantire impermeabilità alle foglie.
D. Permettere lo scambio gassoso.
E. Trasportare linfa elaborata.

3. In una generica tracheofita, quale è la funzione del floema?

A. Produrre il polline.
B. Attirare gli insetti impollinatori.
C. Produrre nuovo tessuto di accrescimento apicale.
D. Trasportare linfa elaborata.
E. Trasportare linfa grezza.

4. In una tracheofita, cos'è genericamente un tessuto meristematico?

A. Un tessuto di rivestimento delle radici.
B. Un tessuto di riserva.
C. Un tessuto impermeabile che evita l'evaporazione dei liquidi.
D. Un tessuto di sostegno.
E. Un tessuto di accrescimento.

5. Nella radice di una generica angiosperma, qual è il ruolo della cuffia?

A. Filtra i nutrienti dalle sostanze inutili.
B. Aiuta la penetrazione nel terreno.
C. Aumenta la superficie assorbente.
D. È la maggiore fonte di riserva della pianta.
E. Protegge la pianta da batteri e funghi.

6. In una generica tracheofita, che ruolo hanno le cosiddette cellule di guardia?

A. Produrre feromoni che allontanano potenziali predatori.
B. Dare maggior sostegno alla parte interna del fusto.
C. Regolare l'apertura degli stomi.
D. Proteggere il gineceo dalle infezioni.
E. Dare maggiore solidità alle radici.

7. In una tracheofita arborea, cosa è il cosiddetto cambio cribro-legnoso?

A. Il meristema che produce floema e xilema secondari.
B. La scorza radicale.
C. Il tessuto di sostegno più interno del tronco.
D. La parte più impermeabile della scorza.
E. Lo xilema attivo.

8. In una tracheofita arborea, dove si trovano il durame e l'alburno?

A. Nelle foglie.
B. Nei peli radicali.
C. Nella scorza.
D. Nel fusto.
E. Nella linfa elaborata.

9. In una tracheofita arborea, cosa è il cosiddetto cambio subero-fellodermico?

A. Il meristema che produce floema e xilema secondari.
B. L'insieme dei tessuti vascolari secondari.
C. Il tessuto che separa il durame dall'alburno.
D. Il meristema dal quale si sviluppano le foglie.
E. Il meristema che produce la corteccia.

Parte F – Ambiente Terra: elementi di Ecologia e tutela dell’ambiente

Unità 1

L'Ecologia

Nell'uso comune, la parola **Ecologia** viene spesso (e impropriamente) usata ogni qual volta si parla di attività connesse alla gestione o alla tutela dell'ambiente. In realtà l'Ecologia è una scienza ben definita che ha come scopo quello di studiare le complesse **interazioni** che esistono tra gli organismi che abitano un determinato ambiente, sia tra di loro che con l'ambiente stesso (fig. 1.1). I sistemi ecologici non sono costituiti da un insieme semplice di relazioni causa-effetto considerabili singolarmente ma, al contrario, sono insiemi complessi di elementi strettamente connessi e interagenti l'uno con l'altro. Non a caso, infatti, quando si parla di un ambiente tenendo conto di tutti i fattori che lo definiscono si parla di **ecosistema**, proprio a sottolineare il fatto che ci si trova di fronte ad un insieme di elementi (le specie e l'ambiente fisico che le circonda) interconnessi che compongono un 'sistema' unico.

Un utile ausilio per comprendere il funzionamento di un sistema di questo tipo e prevederne i cambiamenti possibili qualora si intervenga a modificarne alcune sue componenti, è rappresentato dai **modelli** matematici e statistici. Un modello non è nient'altro che una rappresentazione semplificata di ciò che realmente avviene in un sistema naturale. Si parla di **modelli deterministici** quando, date certe condizioni iniziali, le regole del modello portano sempre ad un unico esito. Si parla invece di **modelli probabilistici** quando il modello fornisce delle **probabilità** che il sistema si trovi in un determinato stato dopo certo un periodo di tempo.

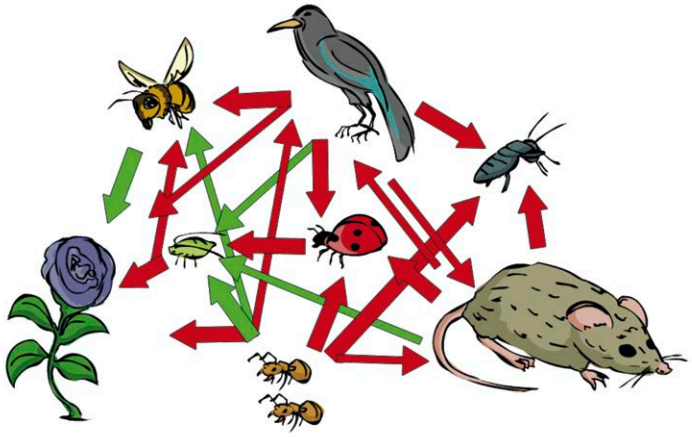

Figura 1.1 Schema ipotetico delle complesse interazioni in un sistema composto da specie diverse. Frecce rosse, interazioni negative, frecce verdi, interazioni positive.

Per fare un esempio, prendiamo un sistema composto da una singola specie predatrice, ad esempio il lupo, e da una singola specie predata, ad esempio la lepre, liberi di interagire tra loro in uno spazio infinito; il noto modello detto **Lotka-Volterra Preda-Predatore** analizza gli andamenti del numero di individui di ognuna delle due specie nel tempo, considerando come uno dei fattori determinanti la **predazione** (fig. 1.2).

È facile però intuire che non esistono (o quasi) in natura sistemi semplici come questo, ma insieme al lupo ci saranno altri predatori, così come insieme alle lepri ci saranno altre possibili prede; allo stesso modo vi saranno boschi più o meno fitti, aree più o meno ricche di acqua, climi diversi e così via. Un modello fornisce quindi indicazioni utili a prevedere il cambiamento di un sistema naturale nel corso del tempo o dello spazio, ma è importante tener presente che le previsioni hanno senso unicamente finché le assunzioni su cui esso si basa sono rispettate (es. un solo predatore ed una sola preda). Quanto più ci si allontana da queste condizioni, tanto meno affidabili saranno le previsioni.

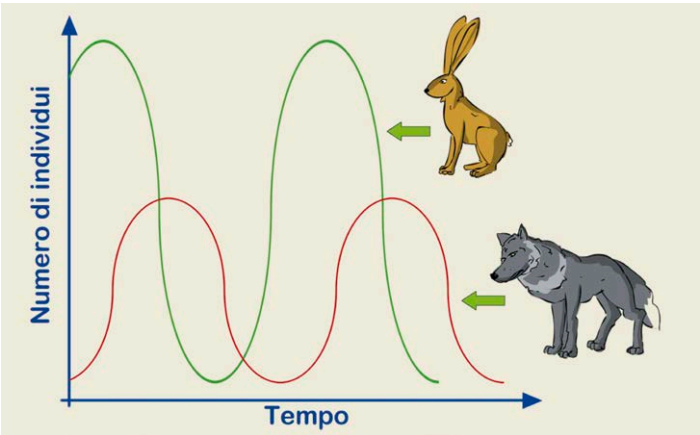

Figura 1.2: Schema del tipico andamento a doppia sinusoide sfasata del Modello Lotka-Volterra Preda-Predatore. Quando la popolazione della preda aumenta, aumenta anche quella del predatore. All'aumentare di quest'ultima, aumenta la predazione e la popolazione della preda diminuisce. Diminuendo questa, ci sono meno risorse disponibili per il predatore per cui la sua popolazione diminuisce. Diminuendo i predatori, le prede tornano a salire, e così via.

Questo elemento è la chiave della sfida degli ecologi: conoscere il più approfonditamente possibile tutto ciò che concorre a strutturare un ecosistema e regolarne il funzionamento per poterlo poi gestire e conservare in maniera efficace.

Esercizi Unità 1

1. Quale di queste è la definizione più corretta per ecologia?

A. È la salvaguardia della natura.
B. È il comportamento degli animali in relazione all'uomo.
C. È la scienza che studia le interazioni tra organismi e ambiente.
D. È la pianificazione dei sistemi di recupero dei rifiuti.
E. È la disciplina che analizza gli effetti tossicologici delle sostanze.

2. Una rappresentazione semplificata di un complesso sistema ecologico viene detta:

A. modello.
B. intervento.
C. linearizzazione.
D. quadro.
E. ridefinizione.

3. Un modello ambientale che fornisce un esito unico date determinate condizioni iniziali viene detto in ecologia:

A. completo.
B. deterministico.
C. univoco.
D. probabilistico.
E. reale.

Unità 2

Flusso energetico, clima e biosfera

Perché piove? Perché tira vento? Perché esistono i deserti e le foreste pluviali? La Terra, come ogni pianeta del Sistema Solare, riceve energia tramite i raggi del Sole, i quali parzialmente riescono ad attraversare l'atmosfera e a riscaldare la superficie terrestre. Si deve però tenere conto del fatto che la terra è pressoché sferica e che l'asse che l'attraversa da nord a sud non è perpendicolare all'ellittica (il percorso che la Terra compie girando attorno al Sole), ma inclinato di circa 23 gradi. A causa di ciò i raggi solari, prima di arrivare sulla superficie terrestre, devono attraversare strati di atmosfera molto diversi tra loro, in base alla latitudine. Per cui, più ci si avvicina ai poli e più i raggi dovranno attraversare strati di atmosfera più ampi, raggiungendo la superficie sempre più indeboliti. L'energia verrà trasmessa, attraverso il riscaldamento della superficie, all'atmosfera soprastante, creando delle grandi differenze tra aree più irraggiate (calde) e meno irraggiate (fredde). L'atmosfera che circonda la Terra è un sistema fluido in cui si possono trovare aree a maggior o minore densità a causa delle variazioni di temperatura, ed è soggetto ad un costante rimescolamento che genera dei continui flussi tra le varie regioni del pianeta. A questi moti, che sono sia orizzontali che verticali (sarebbe forse più corretto dire circolari) si deve il **clima** del pianeta, ovvero il complesso di condizioni di piovosità, temperatura e velocità dei venti.

I diversi climi sono uno dei più importanti fattori che determinano le distribuzioni delle comunità biologiche nel mondo. I **biomi** costituiscono un metodo di classificazione a grande scala che permette di connotare una determinata area e di avere subito un'indicazione su quale tipo di ambienti e specie possa contenere. In generale, due biomi uguali sono accomunati dalla medesima tipologia prevalente di specie vegetali, ma i loro nomi richiamano molte altre caratteristiche generali; i deserti, ad esempio, sono un bioma, così come lo sono le foreste pluviali. Basta nominarli che subito saltano alla mente le loro peculiarità, sia in termini di organismi che di clima (deserto uguale siccità e scarsità di vita, foresta tropicale uguale enorme ricchezza di specie e forte piovosità). Altri esempi di biomi sono la tundra, la macchia mediterranea, la savana ecc. Ovviamente, all'interno di ognuno di questi biomi le condizioni ambientali e le comunità biologiche possono essere molto variabili. In un bioma di foresta temperata, ad esempio, troveremo prati, boschi, laghi, colline, centri urbani e così via, e per ognuno di questi spazi la struttura delle comunità di animali e piante può cambiare, anche di molto.

In ecologia il termine **habitat** identifica l'area in cui, una o più specie, vivono. Un habitat può essere un bosco o una laguna costiera, ma anche un piccolo invaso in un tronco d'albero o lo sterco di un erbivoro. Un'importante branca delle scienze naturali è la **biogeografia**, nata soprattutto grazie agli studi di un famoso naturalista e biologo contemporaneo di Darwin, **Alfred Russel Wallace**. Egli suddivise le terre emerse del pianeta in base alla loro composizione tassonomica (ovvero le specie che li caratterizzano), comprendendo tutte le forme viventi. La suddivisione a

più larga scala è quella delle **ecozone**, grandi **regioni biogeografiche** che vanno dalla regione Australiana, a sud, fino alla Neartica e Paleartica, verso nord, passando per regioni equatoriali come l'Etiopica e la Neotropicale (fig. 2.1). Queste grandi macroregioni furono disegnate inizialmente proprio da Wallace, e, nonostante siano state ampiamente riviste e aggiustate durante l'ultimo secolo, sono rimaste grosso modo il riferimento principale. L'insieme di tutte le regioni terrestri che presentano le condizioni adeguate perché vi sia la vita, viene detto **biosfera**.

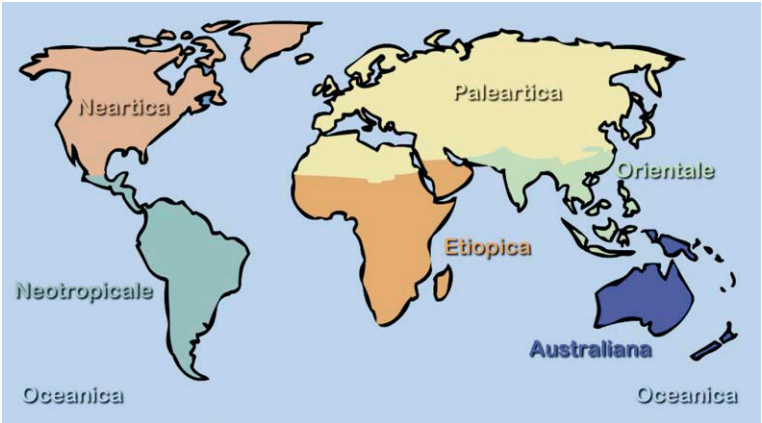

Figura 2.1 Le principali ecozone biogeografiche terrestri.

Fino ad ora abbiamo parlato sostanzialmente solo di ambienti terrestri, ma la terra, come noto a tutti, è coperta per oltre il 70% dagli oceani, i quali hanno una enorme influenza sul clima terrestre. Gli oceani sono il principale contenitore di energia del pianeta. Il riscaldamento dell'acqua (l'accumulo di energia) avviene in genere più lentamente rispetto alla terra (avendo l'acqua una maggiore **inerzia termica**), ma si raffredda anche più lentamente. La diversa temperatura dei mari, in maniera simile a ciò che avviene per l'atmosfera (ovviamente le due cose sono anche tra loro interagenti), crea delle correnti, ovvero dei rimescolamenti delle acque oceaniche che trasportano energia sotto forma di calore anche a distanze enormi. Il clima temperato nelle regioni continentali e insulari nord europee come la Francia, la Gran Bretagna o l'Irlanda, è ad esempio in gran parte determinato dalla **corrente del Golfo**, un flusso continuo d'acqua calda che, riscaldatasi a oltre 7000 km di distanza nel Golfo del Messico, giunge fino alle acque del mare del Nord dove, raffreddandosi, si inabissa per poi tornare verso l'origine. Questo flusso trasporta così energia termica dai tropici verso il nord, mitigando il clima di molte regioni del Nord Europa.

Esercizi Unità 2

1. Per bioma si intende:

A. l'insieme di tutte le forma di vita della Terra.
B. gli organismi vegetali presenti in un habitat.
C. l'insieme delle specie simbionti dell'uomo.
D. una regione geografica identificata dalla sua specie vegetale prevalente.
E. l'areale di conservazione di una specie a rischio.

2. La Neartica, la Paleartica e l'Etiopica sono tre:

A. leggi che regolano il traffico di specie a rischio.
B. regioni biogeografiche o ecozone.
C. comunità di specie ad altro rischio di estinzione.
D. varietà morfologiche umane.
E. metodologie di analisi ecologica tarate in base agli assetti climatici.

3. Quale di queste è la più corretta definizione di habitat?

A. È un elemento fisiologico che garantisce la sopravvivenza di un individuo.
B. È la vegetazione dominante di una certa area.
C. È la variazione dei parametri ambientali nelle diverse aree biogeografiche.
D. È l'insieme dei diversi stadi ontogenetici di una specie.
E. È l'insieme delle componenti ambientali di una certa area.

4. Quali di queste sono la corretta origine e la corretta destinazione della Corrente del Golfo?

A. Golfo Persico verso il Sud-est asiatico.
B. Golfo di Aden verso l'Africa orientale.
C. Golfo di Cadice verso il Sudamerica.
D. Golfo del Messico verso il nord Europa.
E. Golfo di Suez verso il continente Antartico.

Unità 3

Ciclo dell'acqua e cicli biogeochimici

Tutti sappiamo che una bacinella d'acqua, se lasciata nei pressi di una fonte di calore, lentamente evapora, ovvero passa dallo stato liquido a quello gassoso. Se trasportiamo tutto a livello di scala planetaria, abbiamo il primo passo di quello che viene chiamato il **ciclo dell'acqua**, cioè il percorso che una particella d'acqua compie nei vari comparti terrestri a seguito di una serie di processi chimici e fisici. L'acqua evapora in enormi quantità da grandi masse come gli oceani, ma anche da laghi, fiumi e attraverso la cosiddetta **evapotraspirazione**, un termine usato per integrare in un'unica misura l'insieme di vapore prodotto dall'**evaporazione** dell'acqua del terreno e dalla **traspirazione** delle piante (la regolazione della quantità d'acqua tramite gli stomi).

Questa grande quantità d'acqua sotto forma di vapore 'intrappolata' nell'atmosfera tende ad innalzarsi, dato che di norma l'aria vicino al terreno è più calda di quella in quota. Man mano che l'altitudine aumenta, la temperatura diminuisce e l'acqua presente all'interno dell'aria si addensa in microscopiche gocce e minuscoli aghi di ghiaccio, formando le **nubi**. Se l'evaporazione aumenta ancora o le masse d'aria già umide vengono spinte ulteriormente verso l'alto (ad esempio nei pressi di catene montuose), si ha un ulteriore incremento delle particelle di acqua, le quali a questo punto tendono ad aggregarsi e a condensarsi in vere e proprie gocce che precipitano verso il suolo, creando la **pioggia**. L'acqua viene così restituita allo stato liquido sulla superficie terrestre tornando in gran parte direttamente negli oceani. La parte rimanente andrà a costituire le riserve di acqua dolce delle terre emerse sotto forma di laghi, fiumi, falde acquifere o corpi idrici sotterranei. Da qui, se vi sono le condizioni giuste, il ciclo può ripartire (fig. 3.1).

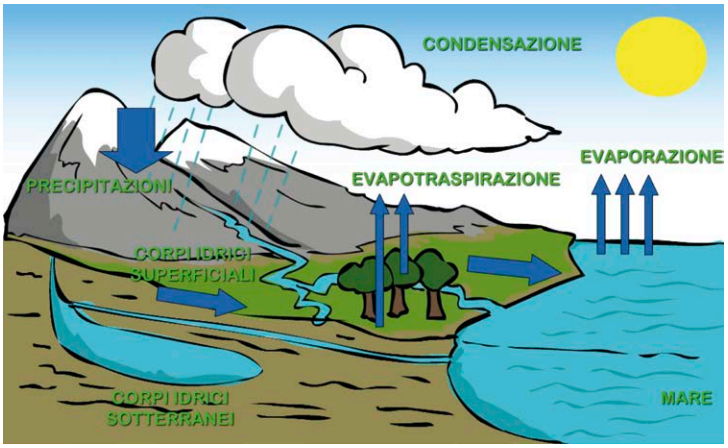

Figura 3.1 Schema del ciclo dell'acqua.

Oltre a quello dell'acqua in natura vi sono numerosi altri cicli che coinvolgono elementi diversi nei vari comparti della sfera terrestre, i cosiddetti cicli **biogeochimici**. Uno dei più importanti è il **ciclo del carbonio**, l'elemento primario della chimica organica. Il carbonio sotto forma di biossido (o anidride, CO_2) presente nell'atmosfera è stato in origine prodotto dai vulcani e, dopo la comparsa della vita, anche come residuo della respirazione degli organismi. Oggi un enorme contributo arriva dalla massiccia combustione da parte dell'uomo di combustibili organici, sia fossili che non (legna, carbone, petrolio ecc.). L'anidride carbonica come sappiamo è l'elemento dal quale gli organismi autotrofi (soprattutto le piante) traggono il carbonio necessario per formare le molecole organiche (come il glucosio) a seguito della fotosintesi. Una volta trasformato in molecole organiche, il carbonio atmosferico entra a far parte della biosfera sotto forma di componenti organiche delle piante (o più in generale degli organismi autotrofi). Gli organismi eterotrofi utilizzano queste risorse di carbonio e, soprattutto a seguito della respirazione, lo restituiscono parzialmente al comparto atmosferico. Durante questo ciclo, vi sono molte possibili immissioni di nuovo carbonio (come appunto la combustione di materiale organico) ma anche molte possibilità di perderne buona parte, come particelle organiche di organismi morti che precipitano nei fondali marini più profondi o che entrano in sacche di materiale organico nel terreno, sedimentando o fossilizzando, senza rientrare mai in circolo (tranne, nel secondo caso, il recupero da parte dell'uomo come per il petrolio o la torba). Il confronto tra perdite e immissioni di carbonio durante il suo ciclo biogeochimico viene detto **bilancio del carbonio** (fig. 3.2).

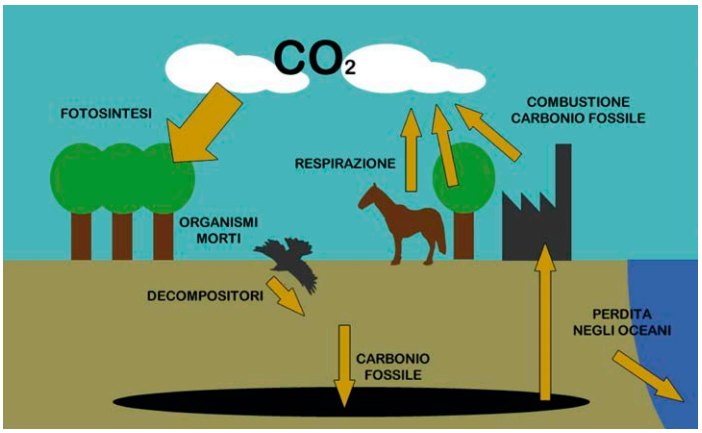

Figura 3.2 Schema del ciclo del carbonio.

Un altro importante ciclo è quello dell'**azoto**. Questo elemento, fondamentale per la produzione di molecole organiche vitali come gli acidi nucleici o le proteine, è presente in atmosfera sotto forma elementare (N_2). In questa forma, però, non può essere utilizzato dai produttori primari, i quali devono assorbirlo dal terreno o dall'acqua sotto diverse forme. Per fare in modo che l'azoto divenga utilizzabile deve essere **fissato**, cioè trasformato in elementi ridotti come l'ammoniaca (NH_3). L'**azotofissazione** è un processo portato avanti da una serie di batteri che catturano l'azoto atmosferico e producono elementi azotati come residui metabolici. Una volta nel terreno, altri batteri detti **nitrificanti** fanno sì che l'azoto si trasformi in nitriti e nitrati (NO_2^-, NO_3^-), ioni potenzialmente assimilabili dalle piante. Una volta assorbito, l'azoto entra a far parte della biosfera, e come per il carbonio, può essere utilizzato da tutti gli organismi. A differenza del carbonio, però, il ciclo dell'azoto si compie largamente nel terreno. Una parte torna comunque a far parte del

comparto atmosferico, grazie ancora all'azione di batteri detti **denitrificanti**, che ritrasformano gli ioni nitrato in azoto elementare volatile (fig. 3.3).

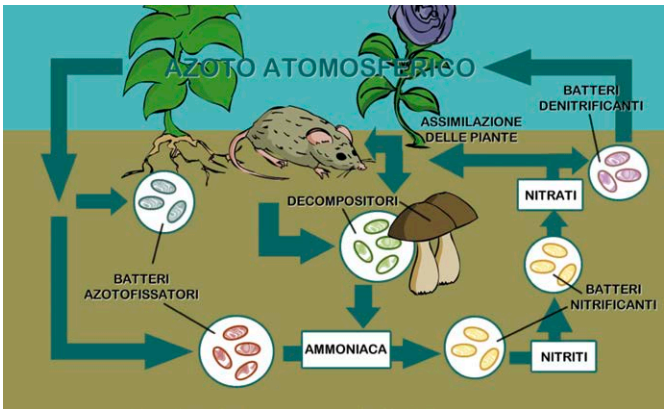

Figura 3.3 Schema del ciclo dell'azoto.

Esercizi Unità 3

1. Con il termine 'evapotraspirazione' si intende:

A. la somma dell'evaporazione annua degli oceani.
B. l'insieme del vapore prodotto dall'evaporazione dell'acqua del terreno e dalla traspirazione delle piante.
C. l'evaporazione che proviene dai corpi idrici sotterranei attraverso canali naturali di fuoriuscita come i geyser.
D. l'insieme di CO_2 prodotta dalla respirazione degli animali.
E. l'evaporazione annua dell'acqua delle sole terre emerse.

2. Il cosiddetto 'bilancio del carbonio', a cosa si riferisce?

A. Al bilanciamento dei prodotti organici tra atmosfera e biosfera.
B. Alla produzione media di carbonio attraverso la respirazione degli animali.
C. Al bilancio tra carbonio respirato e quello prodotto in una pianta.
D. Al bilancio tra immissioni e perdite di carbonio durante il suo ciclo.
E. Al massimo e minimo quantitativo di CO_2 in atmosfera in un anno.

3. Che cosa avviene durante il cosiddetto processo di azotofissazione?

A. L'azoto atmosferico entra nel comparto del suolo grazie all'azione di specifici batteri.
B. L'azoto presente nelle proteine viene recuperato attraverso una serie di processi metabolici.
C. L'azoto presente nel suolo viene rilasciato attraverso spontanee reazioni di ossidazione.
D. L'azoto entra in particolari sacche all'interno delle rocce calcaree e non è più disponibile.
E. L'azoto si lega tramite ponti a idrogeno a delle molecole di acqua e crea dei nuclei di formazione per le gocce di pioggia.

4. Quale è la caratteristica principale dei batteri cosiddetti 'denitrificanti'?

A. Vivere in condizioni estreme di temperatura e pressione.
B. Produrre ammoniaca, NH_3.
C. Decomporre il materiale organico morto nel terreno.
D. Agire in simbiosi con organismi ospiti.
E. Ossidare l'azoto del terreno e restituirlo in atmosfera sotto forma di N_2.

Unità 4

Gli organismi, le risorse e la competizione: rete trofica e nicchia ecologica

Ogni organismo si muove, staziona, si nutre e si riproduce all'interno di un'area caratterizzata da una serie di fattori ambientali, il cui insieme viene detto **habitat**. Per 'fattori ambientali' si intendono, in realtà, moltissimi fattori di origine **abiotica** (non vivente), come ad esempio l'umidità del suolo, la granulometria del sedimento o la quantità di irraggiamento solare, oppure di origine **biotica**, come ad esempio le risorse trofiche, i predatori o i competitori. È importante distinguere anche tra **condizioni**, caratterizzate dal fatto di non essere consumate dagli organismi e le **risorse**, che invece vengono rese indisponibili proprio dall'uso da parte degli organismi. Ognuno di questi fattori, in diversa misura, influenza gli organismi che popolano quell'habitat (in ecologia si usa il termine di **comunità** per l'insieme di specie diverse e di **popolazione** per l'insieme di individui di una singola specie), per cui una loro variazione, seppur piccola, può cambiare anche radicalmente l'intero assetto biologico. Ad esempio, prendiamo un bosco di querce; al suo interno troveremo non solo alberi di quercia, ma moltissime altre specie vegetali, sia arboree che arbustive ed erbacee. A tutte queste saranno più o meno legati degli erbivori, come alcuni ungulati o insetti, i quali, a loro volta, saranno le potenziali prede per carnivori come lupi o ragni. Se di colpo si togliessero ad esempio gli insetti, probabilmente si ridurrebbero di molto anche i loro predatori, i quali, magari, erano essi stessi prede di qualche altro organismo. Questo effetto 'a catena' è molto comune in natura, ed è una complessa sfida che coinvolge gli ecologi da sempre (affronteremo brevemente cosa può succedere alle popolazioni nel tempo più avanti). Da queste semplici considerazioni, possiamo trarre alcune importanti considerazioni. Primo, molti degli organismi che abitano un determinato habitat interagiscono tra loro, in un sistema (o **ecosistema**). Secondo, che queste interazioni sono spesso determinate dai **rapporti trofici** tra le varie specie, ovvero le dinamiche tra chi mangia e chi viene mangiato. Comunemente si sente parlare di **piramide alimentare** (o **piramide trofica**), partendo dagli strati più bassi fatti dai produttori primari per poi salire su agli strati superiori degli erbivori e infine dei predatori. In realtà sarebbe generalmente più corretto parlare di **rete trofica**, in quanto le relazioni tra le varie specie non sono mai così esatte e le influenze dei vari livelli trofici sono molto complesse, coinvolgendo in maniera trasversale i vari livelli (fig. 4.1).

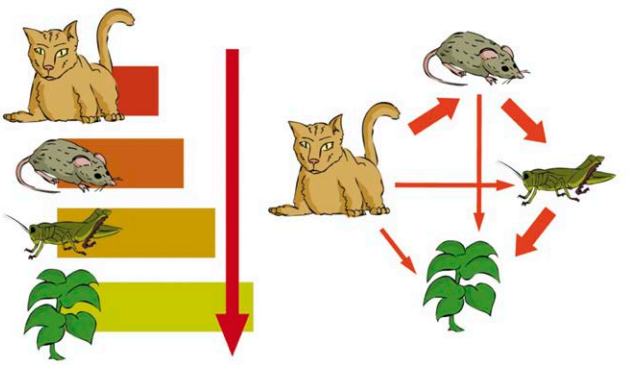

Figura 4.1 Esempio di interazioni trofiche tra specie. A sinistra, interazioni secondo una piramide trofica, a destra, interazioni trasversali tra livelli diversi (rete trofica).

Questa idea della rete ci fa intuire molto più facilmente come l'eliminazione di una specie o comunque l'interruzione di una relazione possa avere effetti a cascata su tutti gli altri organismi (o comunque su parte di essi) in una certa area. Il terzo punto importante è dato dalla necessità per un organismo della presenza di **risorse**. Questo termine in ecologia assume un valore ampio, perché comprende non solo le risorse energetiche del cibo, ma anche le risorse fisiche come ripari per costruire il nido o per nascondersi dai predatori. Ovviamente, come in ogni spazio reale, l'insieme di queste risorse è un insieme finito, ovvero, in parole povere, non sempre ci sono abbastanza risorse per tutti. Questo ingenera un meccanismo di **competizione** non solo tra specie che fanno uso delle stesse risorse, ma anche (e in certi casi soprattutto) tra individui della stessa specie, che per sopravvivere (o più correttamente per aumentare la propria *fitness*) lottano per aggiudicarsi più risorse possibile per sé stessi o per la loro prole (la competizione tra specie diverse viene definita **interspecifica**, mentre quella tra individui della stessa specie viene detta **intraspecifica**). Il quarto e ultimo punto è dato dall'osservazione che molte specie, al di là della limitatezza di certe risorse, convivono all'interno dello stesso habitat. Uno dei modi più semplici per coesistere in un certo ambiente evitando la competizione è quello di utilizzare risorse diverse. Ogni organismo, infatti, presenta le proprie caratteristiche sia trofiche che di uso dello spazio. Solo quando queste si sovrappongono a quelle di un'altra specie si ha una competizione interspecifica. L'insieme di risorse biotiche e abiotiche delle quali necessita un organismo viene detto **nicchia ecologica**. Questo concetto è uno dei fondamenti dell'ecologia ma anche dell'evoluzionismo; la selezione naturale agisce sui genotipi meno adattabili alle pressioni dovute a modifiche nei parametri ambientali, eliminandoli in favore di genotipi più adattabili. La riduzione o il sovrasfruttamento di una determinata serie di risorse può ingenerare una grande competizione tra specie, selezionando sia genotipi più forti nella competizione, che genotipi più adattabili a condizioni diverse e che ad esempio riescono a modificare il proprio comportamento e le necessità alimentari. Quest'ultimo fenomeno viene detto **niche shift** (variazione della nicchia ecologica), ed è stato dimostrato essere uno straordinario motore evolutivo, osservato anche da Darwin nei noti fringuelli delle isole Galapagos.

Esercizi Unità 4

1. Quale di queste definizioni è la più corretta per descrivere la nicchia ecologica?

A. È l'habitat migliore in cui un organismo può vivere.
B. È la fase di maggiore interazione riproduttiva tra popolazioni diverse.
C. È il luogo di origine evolutiva di una specie.
D. È l'insieme delle risorse biotiche e abiotiche delle quali necessita un organismo.
E. È la fase di transizione tra una forma evolutiva ad un'altra in un gruppo sistematico.

2. Che cosa si intende per competizione intraspecifica?

A. La lotta per una preda durante un attacco contemporaneo di due predatori.
B. La competizione per la stessa risorsa trofica.
C. La competizione per le risorse tra individui della stessa specie.
D. La lotta tra maschi per le femmine in specie sociali.
E. La competizione per le risorse tra specie diverse.

3. Che cosa si intende per competizione interspecifica?

A. La lotta per una preda durante un attacco contemporaneo di due predatori.
B. La competizione per la stessa risorsa trofica.
C. La competizione per le risorse tra individui della stessa specie.
D. La lotta tra maschi per le femmine in specie sociali.
E. La competizione per le risorse tra specie diverse.

4. In ecologia, che cosa è il fenomeno detto di *niche shift*?

A. È un processo evolutivo che spinge una specie a variare le proprie necessità a seguito di fenomeni competitivi.
B. È l'insieme dei cambiamenti climatici avvenuti nell'arco degli ultimi 100 mila anni.
C. È l'arco di tempo durante il quale avviene lo sviluppo ontogenetico di un organismo.
D. È l'intervallo tra il massimo e il minimo apporto energetico durante la fase di nutrizione in una specie.
E. È quel processo che porta una determinata specie a combattere contro un'altra con maggiore forza durante la competizione per il cibo.

Unità 5

Comunità e popolazioni nel tempo

In ecologia, viene definita **comunità** (o **biocenosi**) un insieme di specie che abitano un ecosistema, mentre viene definita **popolazione** l'insieme di individui di una sola specie in una determinata area. Come abbiamo visto, gli organismi che occupano una stessa area interagiscono tra loro in maniera più o meno diretta. Questa interazione influenza in maniera determinante gli andamenti temporali del numero sia di specie che di individui nel tempo.

Partendo da un habitat semplice, ad esempio un'area la cui componente biologica sia stata azzerata da un evento catastrofico come un incendio, siamo in grado ipotizzare come evolverà quell'area dal punto di vista delle comunità di specie? In termini generali sì. Ci aspettiamo che i primi organismi ad occupare questo spazio siano specie cosiddette **pioniere**, ovvero specie che utilizzano le risorse residuali a disposizione per insediarsi, spesso riprodursi in maniera molto rapida e cospicua per poi, in tempi molto brevi, morire. Queste specie normalmente non investono energie nelle cure parentali (accudimento e difesa della prole), ma producono molti nuovi potenziali individui (ad esempio uova o semi), dei quali solo una piccolissima parte riuscirà a trovare le condizioni giuste per sopravvivere e dare origine a un individuo adulto (questo tipo di strategia viene detta in ecologia **strategia r**). La presenza di queste specie costituisce la base per la comparsa di altre specie, ad esempio loro predatori o utilizzatori dei loro scarti, i quali a loro volta tenderanno a richiamare altre specie con le quali interagiscono e così via. Questa variazione nelle comunità ha effetti sull'intero habitat, il quale si modifica a sua volta in base agli effetti della presenza delle nuove specie. Ad esempio, osservando la componente vegetale di un habitat, vedremo che col tempo tende a variare considerevolmente, partendo spesso da comunità di muschi o piante basse per poi strutturarsi nel tempo in arbusteti e infine in boschi, mano a mano sempre più maturi e definiti. Questo processo ha delle ricadute sulla disponibilità di risorse e sulle condizioni ambientali dell'intero habitat, andando a modificare anche le comunità di animali (oltre che di funghi, batteri, protozoi ecc.) che vi risiedono, le quali dovranno assestarsi a loro volta in base ai nuovi parametri.

Col passare del tempo, l'habitat diviene in genere sempre più stabile, in quanto i rapporti di interazione e competizione tra le varie specie tendono ad equilibrarsi. Con una maggiore stabilità dell'habitat, vi sarà una maggiore incidenza di specie con caratteristiche molto diverse dalle specie pioniere iniziali. Ad esempio, tenderanno ad investire molto di più nella propria sopravvivenza e in quella della prole (strategia definita **strategia K**), data la maggiore e più costante presenza di risorse nell'ambiente (intese non solo come cibo ma anche come rifugi o siti ottimali di nidificazione). Proseguendo ancora nel tempo, se ve ne sono le condizioni, l'habitat tenderà a raggiungere una stabilità pressoché completa e le biocenosi al suo interno si assesteranno. Questo stadio viene definito **climax**.

Tutto questo processo temporale di variazione dinamica delle comunità viene detto **successione ecologica** (fig. 5.1). In particolare, la tipologia di successione descritta viene detta **secondaria**, per differenziarla da una **primaria** nella quale il primo stadio è un ambiente del tutto privo della componente biotica, come ad esempio una roccia nuda.

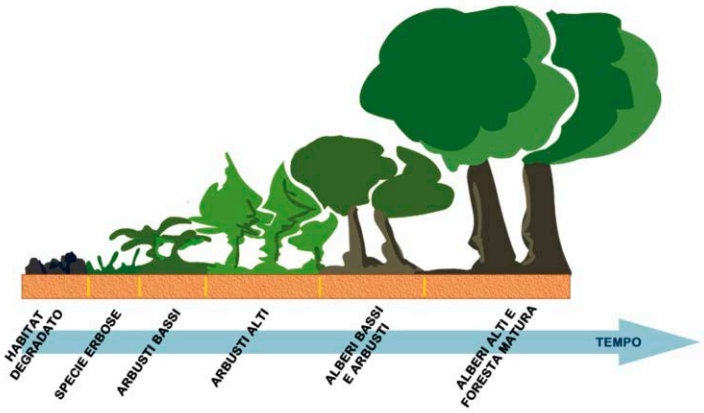

Figura 5.1 Esempio schematico di una possibile successione di un habitat forestale.

E cosa accade invece in una popolazione di una singola specie nel tempo? Se immaginiamo uno spazio infinito, che preveda risorse di cibo infinite e vi inseriamo una popolazione di un organismo X, questo tenderà a moltiplicarsi, in teoria senza limiti. La crescita del numero di individui della popolazione, in un caso teorico come questo, sarà esponenziale fino all'infinito. Infatti, immaginando un **tasso finito di accrescimento** costante (in genere definito con λ – *lambda*, un parametro che indica quanto la popolazione si accresce nell'unità di tempo), la popolazione al tempo 1 sarà data dal numero di individui al tempo 0 per λ. La popolazione al tempo 2 sarà quella al tempo 1 ancora per λ e così via. Dopo t unità di tempo, il numero di individui della popolazione sarà dato dalla formula:

$$Nt = N_0 \text{ (numero di individui iniziali) } * \lambda^t$$

dato che λ, verrà moltiplicato per ognuna delle unità di tempo considerate. In sostanza, ad ogni passaggio si moltiplica per la costante λ (che qui per semplicità assumiamo sempre maggiore di 1) quantità sempre maggiori. Semplificando al massimo (non considerando le morti e tutti gli individui subito riproduttivi e fertili), se da 2 individui (al tempo 0) ne nascono altri 2, al tempo 1 vi saranno 4 individui (quindi $\lambda = 2$). Da quei 4 ne nasceranno altrettanti, per cui saranno 8 (4 x λ) al tempo 2. Gli 8 diverranno 16 al tempo 3, 32 al tempo 4 e così via, esattamente secondo un andamento esponenziale (fig. 5.2).

Tuttavia le popolazioni naturali sono limitate sia dalla disponibilità di spazio che di risorse, che non sono infinite. Le popolazioni che abitano una determinata area dovranno quindi fare i conti con entrambi questi limiti e l'accrescimento dovuto alla riproduzione proseguirà con un certo ritmo fino a che, per i già citati fenomeni di competizione per le risorse, sempre più individui moriranno e meno individui nasceranno, fino a bilanciarsi ad un certo valore, azzerando di fatto la crescita.

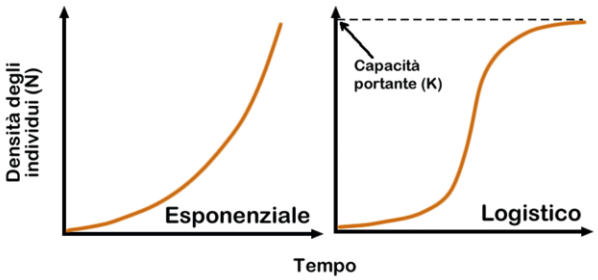

Figura 5.2 Modelli di crescita di popolazione esponenziale e logistica.

Questo fenomeno, già ipotizzato nel XVIII secolo dall'economista e demografo **Thomas Robert Malthus** e formalizzato nel secolo successivo dal matematico **Pierre François Verhulst**, è una delle basi dei modelli della **demoecologia**, o ecologia delle popolazioni. Il limite massimo di individui (in termini di **densità**) di una specie che può essere contenuto in una determinata area in base alle sue risorse, viene detta **capacità portante** (K) per quella specie in quell'habitat. La figura riporta dei modelli di accrescimento teorici di base; il primo è esponenziale e il secondo è uno dei più comunemente trattati nello studio della demoecologia, il **modello logistico**. In quest'ultimo si vede come il numero degli individui (in termini di **densità**, dato che il numero degli individui è relativo sempre ad una certa area) cresca esponenzialmente nella prima fase finché non intervengono i fenomeni di competizione, che riducono il **tasso di accrescimento** (la misura della velocità di crescita della popolazione) fino al raggiungimento del numero massimo possibile di individui, cioè la capacità portante, dove l'accrescimento si ferma. Quando la popolazione raggiunge la capacità portante si ha un equilibrio dinamico, dato dal fatto che il numero di individui che nascono è perfettamente compensato da un ugual numero di individui che muoiono.

Ovviamente questo è soltanto un modello teorico basilare, mentre le migliaia di potenziali effetti di disturbo in un sistema naturale possono modificarne l'andamento in tantissimi modi, che sono tutt'oggi un terreno di studio molto complesso e affascinante in Ecologia.

Esercizi Unità 5

1. In ecologia, con il termine 'comunità' si intende:

A. un insieme di individui della stessa specie.
B. un insieme di animali.
C. un insieme di specie o gruppi sistematici diversi.
D. un insieme di piante.
E. un insieme di habitat diversi.

2. In ecologia, con il termine 'popolazione' si intende:

A. un insieme di individui della stessa specie.
B. un insieme di animali.
C. un insieme di specie o gruppi sistematici diversi.
D. un insieme di piante.
E. un insieme di habitat diversi.

3. In ecologia, la variazione temporale delle comunità in una determinata area prende il nome di:

A. dissociazione.
B. successione.
C. correlazione.
D. conseguenza.
E. concatenazione.

4. Quale di questi processi ecologici può essere individuato come il principale fattore limitante per l'accrescimento di una popolazione?

A. Evoluzione.
B. Riproduzione.
C. Fertilità.
D. Competizione.
E. Motilità.

Unità 6

Cenni sulla tutela dell'ambiente

Adesso sappiamo a grani linee di cosa si occupa l'ecologia. Ma sviluppare tutte queste teorie scientifiche basate su una grande mole di esperimenti sul campo, rilevamenti, analisi, ha una utilità pratica? Ovviamente sì. L'ecologia, al pari delle altre scienze, ha infatti, oltre ad una valenza puramente conoscitiva, anche un'importanza applicativa, dato che ci può consentire una valutazione dello stato di salute dell'ambiente e la comprensione dell'impatto dell'uomo sugli ecosistemi. La disciplina che si occupa di questi aspetti viene spesso detta **conservazione della natura**, anche se **tutela dell'ambiente** è forse una definizione più propria. 'Conservazione' infatti rimanda a pratiche che tendano a stabilizzare nello stato attuale l'ambiente, ma sappiamo che tutti i sistemi naturali sono in costante mutamento, al di là delle spinte provocate dall'uomo. Per cui 'tutelare' un ambiente può significare non soltanto conservarne lo stato attuale, ma anche mantenerne le dinamiche temporali senza influenze artificiali, salvaguardandone le caratteristiche naturali.

La tutela dell'ambiente e delle sue risorse è uno dei grandi temi che l'umanità ha iniziato ad affrontare da un tempo relativamente breve, da quando cioè ci siamo resi conto che l'impatto della nostra specie stava divenendo molto pesante e che eravamo i diretti responsabili di una vasta serie di gravi sconvolgimenti. Molti dei temi più conosciuti sono materia di intenso dibattito da molti anni: l'effetto serra e il riscaldamento globale, l'inquinamento atmosferico e delle acque, l'aumento della popolazione umana di quasi 5 volte nell'ultimo secolo, la frammentazione e riduzione degli habitat, la distruzione delle foreste pluviali, la diffusione di specie 'aliene' (cioè non appartenenti ad un certo habitat), la desertificazione dei mari a causa del sovrasfruttamento, ed altre ancora.

Per quanto l'impatto dell'uomo sugli ecosistemi sia iniziato in epoche remote, ed abbia subito una forte accelerazione negli ultimi 150 anni, ovvero dalla rivoluzione industriale, soltanto in epoche relativamente recenti si è iniziato a trattare in maniera seria il tema dell'ambiente, con importanti patti e accordi internazionali siglati per far fronte ai numerosi problemi che affliggono gli naturali ecosistemi. Tra questi possiamo citare il famoso **Protocollo di Kyoto** del 1992 o il più recente **Accordo sul clima di Parigi** del 2015, ratificato nel 2016, con il quale numerosi Stati si sono impegnati a migliorare molte delle problematiche ambientali dovute ai cambiamenti climatici, principalmente grazie alla riduzione della produzione di **gas serra**. L'**effetto serra**, diversamente da quello che si può pensare, di per sé non è affatto negativo, ma è uno dei motivi che ha reso possibile l'evoluzione della vita sulla Terra. L'atmosfera terrestre permette il passaggio di una parte dei raggi solari (l'altra viene direttamente riflessa verso l'esterno); questi, raggiungendo il suolo, riscaldano la superficie. Aumentando la propria temperatura, la Terra, come ogni corpo caldo, emette a sua volta delle radiazioni termiche, ma con frequenza decisamente più bassa rispetto ai raggi solari che sono riusciti ad attraversare l'atmosfera. Queste radiazioni, proprio perché di frequenza diversa da quelle che sono arrivate dal Sole, non riescono completamente ad attraversare

l'atmosfera, ma vengono di nuovo rimbalzate verso il suolo, contribuendo loro stesse al riscaldamento. A questo punto la Terra si scalderà ancora di più ed emetterà ancora più radiazioni, e così via (per un sistema come questo, quando l'avvio di un processo contribuisce ad una sua stessa successiva accelerazione, si parla di **feedback positivo**). Questo fenomeno, chiamato 'effetto serra' proprio perché è esattamente ciò che avviene sotto il vetro di una serra, fa sì che la temperatura del suolo sia più calda di quanto dovrebbe essere a causa della sola radiazione solare, permettendo a molte aree di essere disponibili per accogliere la vita anche se potenzialmente troppo fredde. E quindi perché è un problema? Si deve sapere che la parte di radiazione riemessa dalla Terra 'rimbalza' e torna verso il basso soprattutto grazie ad alcuni dei gas che compongono l'atmosfera, in particolare l'anidride carbonica (CO_2). L'uomo, bruciando enormi quantità dei cosiddetti **combustibili fossili** (carbone, petrolio, torba, ecc.), immette quotidianamente milioni di tonnellate di anidride carbonica in atmosfera, alterando così il naturale ciclo del carbonio. Questo incremento della quantità di CO_2 fa sì che anche la porzione di radiazione riemessa dalla Terra che viene respinta verso il suolo aumenti, amplificando così l'effetto serra (fig. 6.1). Questo fenomeno, sta provocando un costante incremento della temperatura media globale del pianeta (il cosiddetto ***global warming***). Seppur di pochi gradi, questo incremento sta generando effetti devastanti per tutta la biosfera: scioglimento dei ghiacci polari e innalzamento dei mari, variazioni climatiche macroscopiche, elevata incidenza di catastrofi naturali, riduzione della biodiversità e molto ancora.

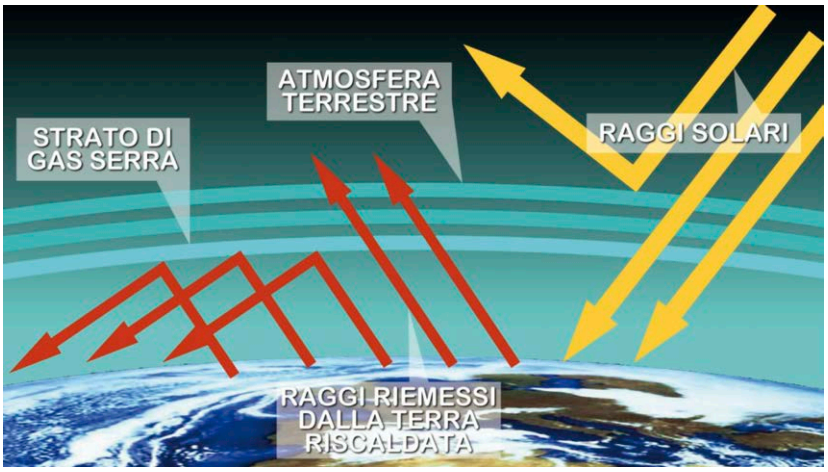

Figura 6.1 Schema del meccanismo dell'effetto serra.

L'effetto serra è comunque soltanto uno dei gravi problemi che dovremmo affrontare. La riduzione delle foreste (**deforestazione**) soprattutto tropicali, ad esempio, ha un valore altrettanto enorme. Sono già molti anni che si sente parlare di 'polmone verde' del pianeta a riguardo delle foreste pluviali; una definizione assolutamente corretta. Infatti, come sappiamo, l'ossigeno atmosferico che noi respiriamo proviene quasi totalmente dalle piante, che lo producono come scarto della fotosintesi. Se togliessimo tutte le piante del mondo, l'ossigeno finirebbe in brevissimo tempo, di fatto estinguendo tutte le forme viventi. Mantenere in vita quindi vaste porzioni di foresta fa sì che l'ossigeno sia sempre riccamente disponibile nell'aria. Inoltre, le foreste tropicali sono uno dei luoghi con maggiore biodiversità in assoluto, data la ricchezza di risorse disponibili. Tutelare la biodiversità, per quanto possa sembrare ai più distratti solo una questione morale o puramente scientifica, è anche qualcosa di molto più pratico. Molte delle sostanze che utilizziamo in farma-

cologia sono state infatti sviluppate proprio partendo da sostanze naturali prodotte da organismi (l'aspirina dai salici o gli antibiotici dalle muffe, ad esempio). Per cui, considerando che una gran parte delle specie sono tutt'ora sconosciute e che le conoscenze scientifiche attuali sono comunque ancora poca cosa rispetto alla enorme varietà di caratteristiche biologiche e fisiologiche delle specie viventi, non è certo da escludere che un domani emerga qualche nuova sostanza, prodotta naturalmente, che possa essere di grande importanza anche per la salute umana. Ampia, in effetti, è la ricerca in questo campo.

Altri gravi e noti problemi ambientali sono certamente l'inquinamento atmosferico dell'aria e delle acque, date le enormi quantità di sostanze chimiche artificiali (**prodotti xenobiotici**) immesse nella biosfera quotidianamente, ma anche lo smaltimento dei rifiuti, sempre maggiori. Molte di queste problematiche sono dovute alla immensa quantità di persone che abitano il pianeta (ben oltre i 7 miliardi), le quali consumano risorse naturali a ritmi straordinari, soprattutto nei paesi industrializzati. Per quanto sembri oggi che l'incremento della popolazione stia rallentando rispetto all'ultimo secolo, si prevede che nel 2050 la popolazione sarà di oltre 9 miliardi di persone. È facile immaginare come ciò possa divenire sempre più un problema dal punto di vista delle risorse primarie, su tutte acqua dolce e cibo.

Infine è bene ricordare come la tutela dell'ambiente, al di là dei grandi temi planetari, sia una questione quotidiana che riguarda chiunque. Poche attenzioni di ognuno possono radicalmente cambiare le condizioni generali dell'ambiente, rallentando il processo di decadimento del quale purtroppo siamo i primi responsabili.

Esercizi Unità 6

1. Quale di questi gas è quello maggiormente implicato nell'effetto serra?

A. Anidride solforosa.
B. Biossido di azoto.
C. Ossigeno.
D. Benzene.
E. Anidride carbonica.

2. Che cosa si intende con il termine *global warming*?

A. Riduzione della biodiversità marina.
B. Aumento dell'urbanizzazione dei territori naturali.
C. Implementazione delle politiche ambientali internazionali.
D. Aumento della temperatura media terrestre.
E. Frammentazione degli habitat.

3. Quale è l'attività umana maggiormente responsabile del *global warming*?

A. Utilizzo di combustibili fossili.
B. Pesca indiscriminata.
C. Informatizzazione dei rapporti sociali.
D. Impoverimento dei mari.
E. Abbandono dei rifiuti nell'ambiente.

4. Che cosa si intende per 'specie aliene'?

A. Specie particolarmente aggressive.
B. Specie scientificamente di grande interesse.
C. Specie importate artificialmente in un habitat che ne era privo.
D. Specie dal comportamento estremamente variabile.
E. Specie le cui interazioni ecologiche non sono in gran parte descrivibili.

Soluzioni degli esercizi

PARTE A – COMPOSIZIONE CHIMICA DEGLI ORGANISMI VIVENTI

Unità 1 – L'acqua

1B
2A
3E
4B
5A
6C
7A
8B
9D
10D

Unità 2 – Peptidi e proteine

1C
2B
3E
4A
5D
6D
7B
8B
9E
10C
11A
12A

Unità 3 – Carboidrati

1A
2D
3C
4D
5A
6E
7C

Unità 4 – Nucleotidi e acidi nucleici

1E
2A
3D
4E
5E
6C
7D
8B
9E
10C

Unità 5 – Lipidi

1C
2D
3A
4E
5D
6B
7D

PARTE B – LA CELLULA

Unità 1 – Generalità

1D
2A
3D
4E
5A

Unità 2 – Membrana cellulare

1C
2D
3B
4E
5D
6B
7A
8D

Unità 3 – Citoplasma e organuli cellulari

1A
2C
3D
4A
5E
6B
7D
8E
9A
10E
11C
12B
13E
14B
15D
16D

Unità 4 – Esocitosi ed endocitosi

1D
2C
3A
4C

Unità 5 – La riproduzione cellulare

1C
2D
3E
4E
5A
6B
7D
8C
9A
10E

Unità 6 – La cellula vegetale

1C
2D
3E
4E
5C
6A
7B
8B

PARTE C – CODICE GENETICO, RIPRODUZIONE ED EREDITARIETÀ

Unità 1 – Generalità e genetica mendeliana

1D
2B
3A
4D
5A
6E
7E
8B
9D
10E
11A
12D
13C
14D

Unità 2 – Trascrizione e sintesi proteica

1E
2C
3D
4D
5B
6B
7A

Unità 3 – Replicazione del DNA

1D
2D
3E
4A
5C
6D

Unità 4 – La riproduzione degli organismi: gli animali

1C
2D
3D
4A
5C
6B
7C
8E
9A

Unità 5 – La riproduzione degli organismi: le piante

1E
2A
3E
4E
5C
6D

PARTE D – PRINCIPI DI CLASSIFICAZIONE E FILOGENESI DEGLI ORGANISMI VIVENTI E BASI DELL'EVOLUZIONE

Unità 1 – Storia e principi del concetto di evoluzione: da Lamarck al neodarwinismo

1D
2E
3A
4E

Unità 2 – Classificazione degli organismi

1E
2C
3C
4A

Unità 3 – Brevi cenni sui principali taxa animali e vegetali

1E
2C
3B
4D
5D
6C
7A
8D
9D
10E

Unità 4 – Breve storia della nascita e del dominio della vita sulla Terra

1B
2E
3A
4D
5C
6E
7E

Unità 5 – L'evoluzione dell'uomo

1D
2C
3C
4A
5E
6D

PARTE E – BASI DI ANATOMIA E FISIOLOGIA ANIMALE E VEGETALE

Unità 1 – Generalità

1D
2B
3A
4C

Unità 2 – Anatomia umana – Sistema circolatorio

1B
2E
3C
4D
5B
6C
7A
8B
9A
10E

Unità 3 – Apparato respiratorio

1B
2D
3A
4A
5E
6D

Unità 4 – Apparato digerente

1D
2B
3E
4B
5B
6A
7D

Unità 5 – Sistema nervoso

1D
2C
3E
4A
5C
6E
7E
8A

Unità 6 – Apparati muscolare e scheletrico

1D
2A
3D
4A
5E
6E
7C
8B
9A
10D

Unità 7 – Anatomia generale delle piante vascolari

1C
2A
3D
4E
5B
6C
7A
8D
9E

PARTE F – AMBIENTE TERRA: ELEMENTI DI ECOLOGIA E CONSERVAZIONE DELLA NATURA

Unità 1 – L'ecologia

1C
2A
3B

Unità 2 – Flusso energetico, clima e biosfera

1D
1B
1E
4D

Unità 3 – Ciclo dell'acqua e cicli biogeochimici

1B
2D
3A
4E

Unità 4 – Gli organismi, le risorse e la competizione: rete trofica e nicchia ecologica

1D
2C
3E
4A

Unità 5 – Comunità e popolazioni nel tempo

1C
2A
3B
4D

Unità 6 – Cenni sulla tutela dell'ambiente

1E
2D
3A
4C